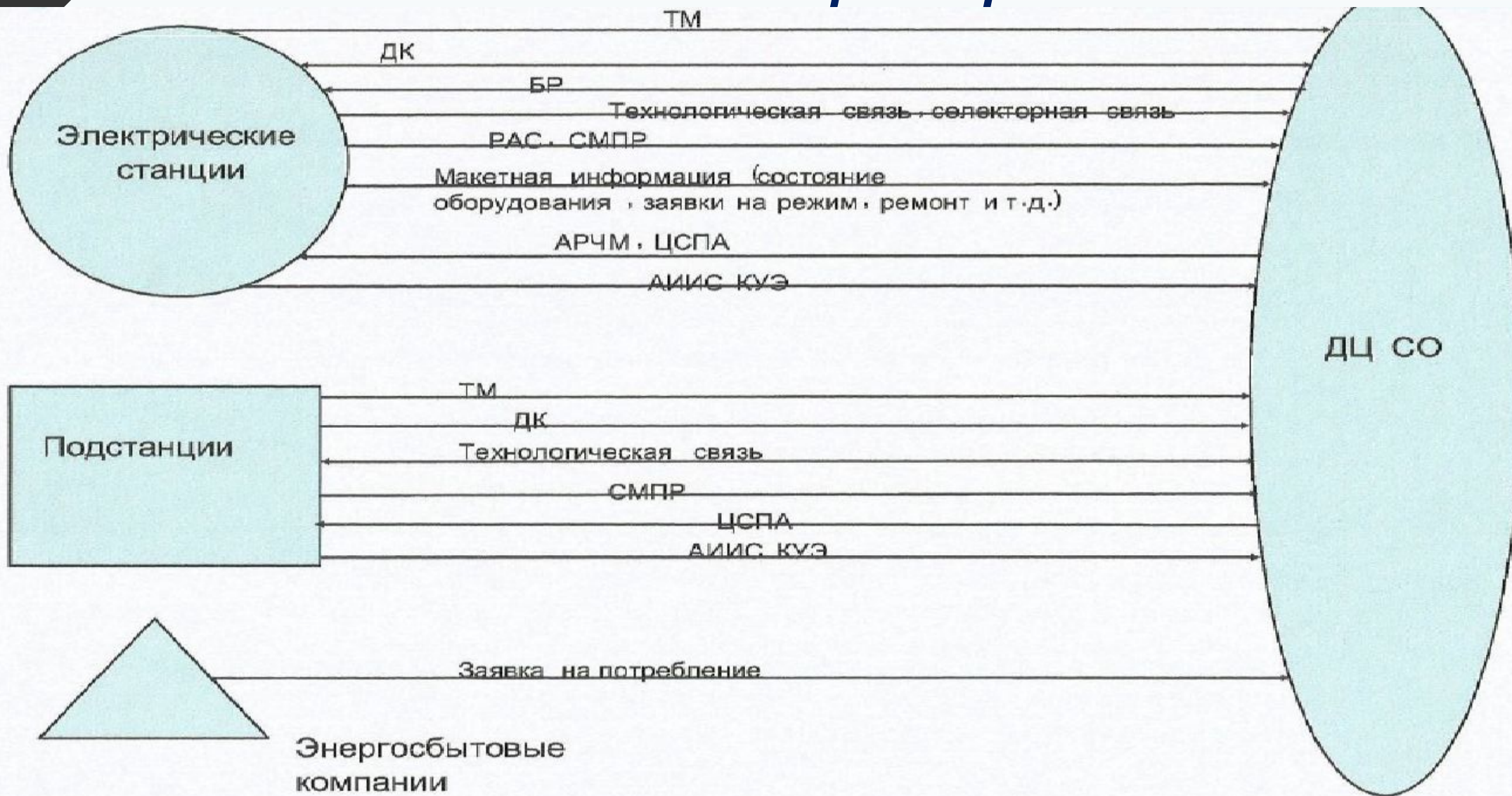


ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНО- ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

**Автоматизированные системы оперативно-
диспетчерского и технологического управления**

Обобщенная схема информационных потоков на объектах электроэнергетики



Состав информационных потоков на объектах электроэнергетики

Известительная информация - от контролируемых объектов в диспетчерский центр.

Распорядительная информация - из диспетчерского центра на контролируемые объекты

Известительная информация - оперативная информация и часть производственно-технической информации - сведения, необходимые для расчета и корректирования текущего процесса выработки и распределения энергии.

Оперативная информация - положения выключателей высокого напряжения, состояние противоаварийной автоматики, значения напряжения и частоты в контрольных точках электрической сети, значения перетоков активной и реактивной мощности на межсистемных линиях электропередачи и т. д.

Распорядительная информация - параметры оптимальных графиков активной и реактивной мощности электростанций, требуемые переключения силового оборудования, изменения уставок релейной защиты и противоаварийной автоматики и т. д.

Информация для оперативного диспетчерского контроля текущего режима работы объекта передается дискретно с циклом повторения 1 раз в секунду.

Данные об активной мощности и графики фактического потребления мощности передаются 1 раз в час.

Данные об изменениях в составе включенного оборудования передаются сразу же по возникновении. Производственно-техническая информация в части данных, не меняющихся в течение суток, передается 1 раз в сутки.

Состав автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления (АСДУ)

- ✓ Системы сбора и передачи информации (ССПИ), включающие:
 - источники измерений и сигнализации (датчики);
 - устройства преобразования и концентрации телеметрической информации (ЦППС);
 - программно-аппаратные комплексы для информационного обмена (системы телекоммуникации);
- ✓ Системы контроля, сбора и архивирования данных (базы данных);
- ✓ Системы отображения информации;
- ✓ Информационная модель объектов электроэнергетики и энергосистемы (*CIM – common information model*);
- ✓ Система управления производством, передачей и распределением электрической энергии (*EMS – Energy Management System*);
- ✓ Система управления рынком электроэнергии и мощности (*MMS – Market Management System*).

Пояснение к составу автоматизированной системы оперативно-диспетчерского управления (АСДУ)

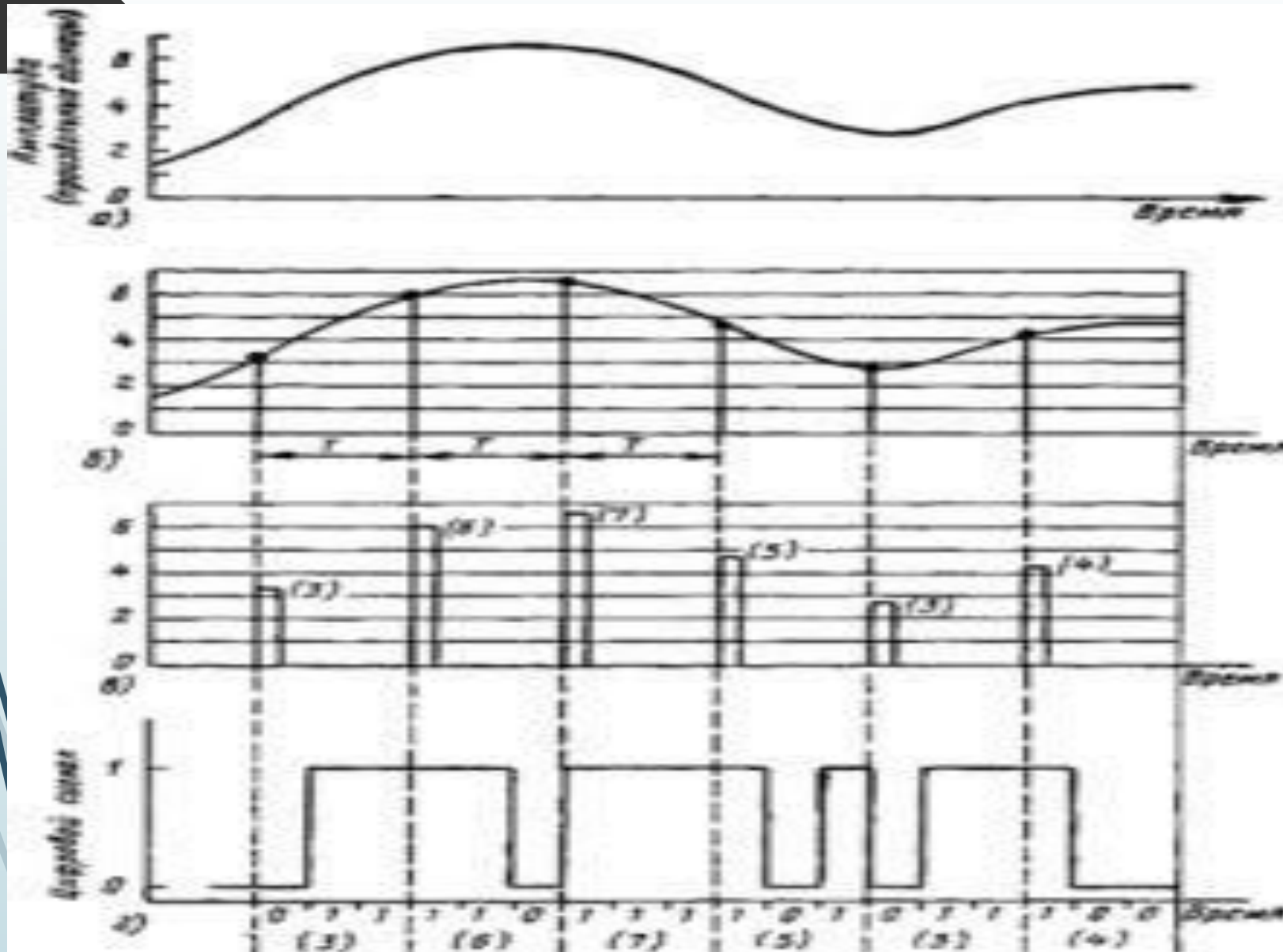
- ✓ информационная модель объектов электроэнергетики и энергосистемы - абстрактная модель, которая все множество элементов электроэнергетической системы представляет стандартным образом в виде описания объектов, их свойств и связей между ними. Такое единое описание позволяет осуществлять интеграцию различных приложений, выполненных независимыми изготовителями - МЭК-61970-301 (**CIM – common information model**);
- ✓ система управления производством, передачей и распределением электрической энергии, предназначенная для решения задач планирования и управления режимами, оперативного учета и анализа использования энергоресурсов, состояния оборудования, технико-экономических показателей, а также для анализа режима работы электрической сети в режиме реального времени, представляющая собой набор функциональных компонентов для автоматизации функций оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике либо оперативно-технологического управления (**EMS – Energy Management System**);
- ✓ система управления рынком электроэнергии и мощности, предназначенная для поддержки участия в рынке электроэнергии и мощности, включая распространение диспетчерских графиков, перераспределение мощности генераторов с учетом ценовых заявок и зарегистрированных диспетчерских команд, расчет отклонений от заданного диспетчерского графика и выявление инициатив (**MMS – Market Management System**).



СИСТЕМА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В ЕЭС РОССИИ

Системы связи

Виды сигналов



Информация –

совокупность сведений в виде знаков;

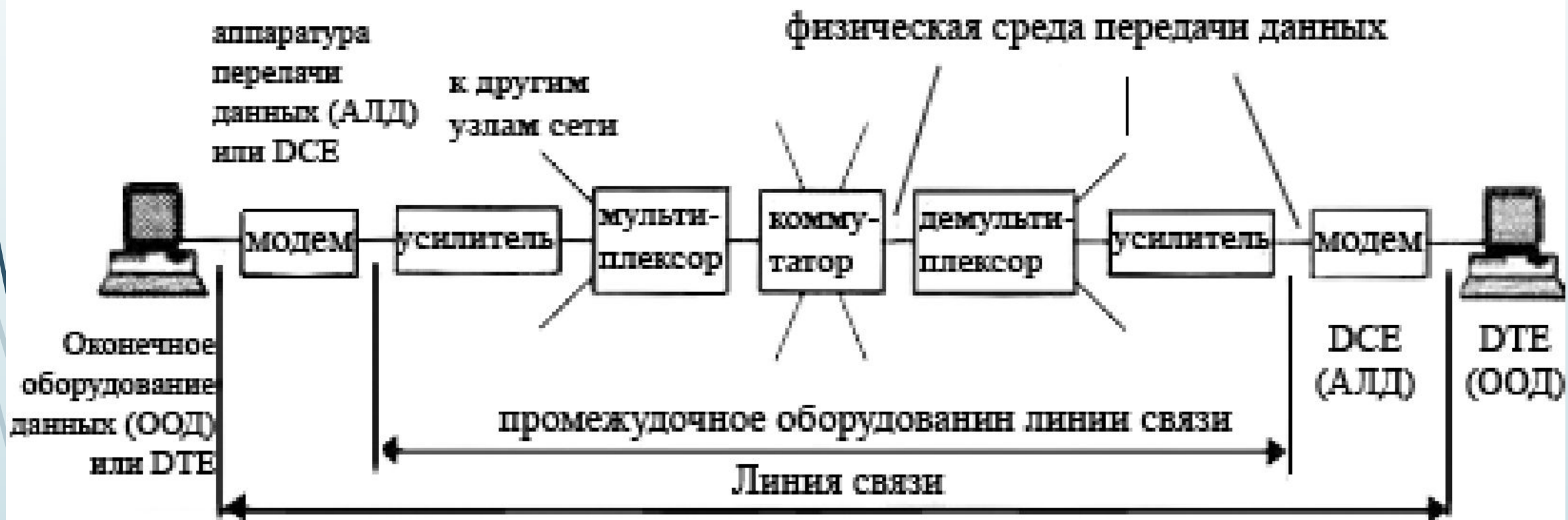
Сообщение –

совокупность знаков, несущих информацию;

Сигнал – физический процесс, отображающий сообщение:

- а) непрерывный сигнал;
- б) дискретный по времени сигнал;
- в) сигнал, квантованный по уровню;
- г) цифровой сигнал

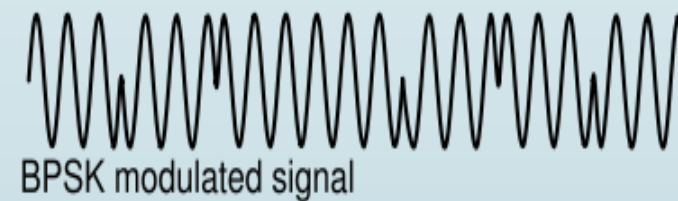
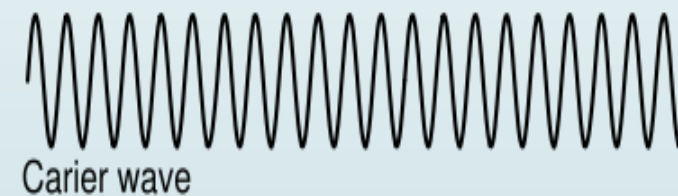
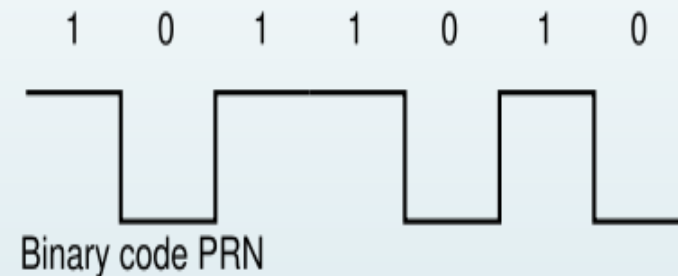
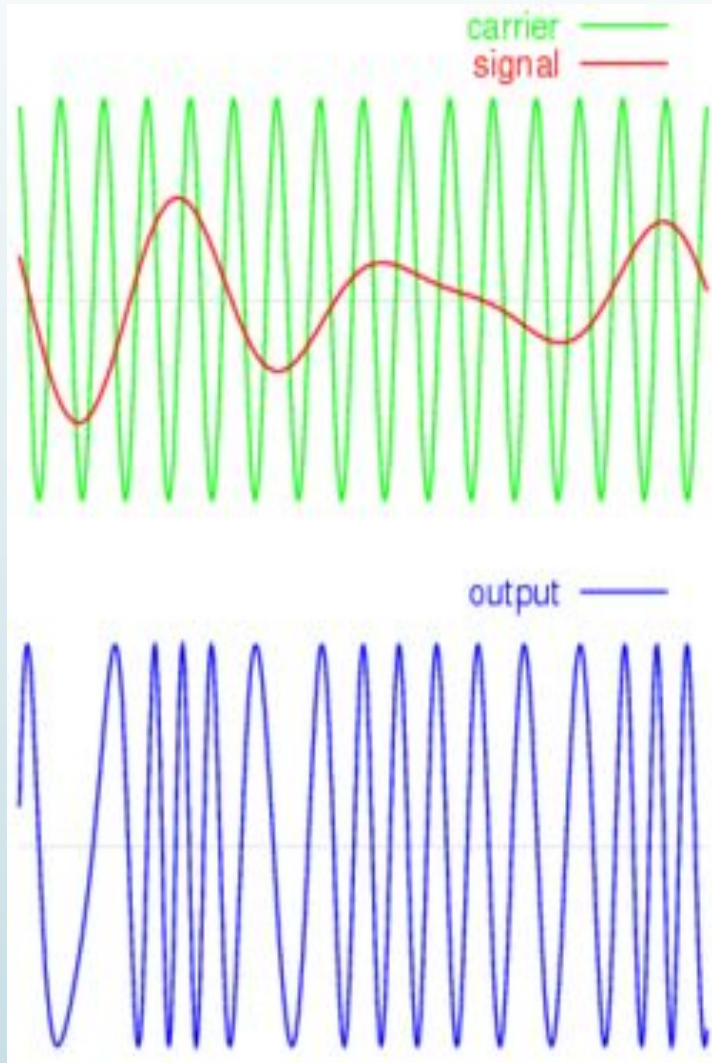
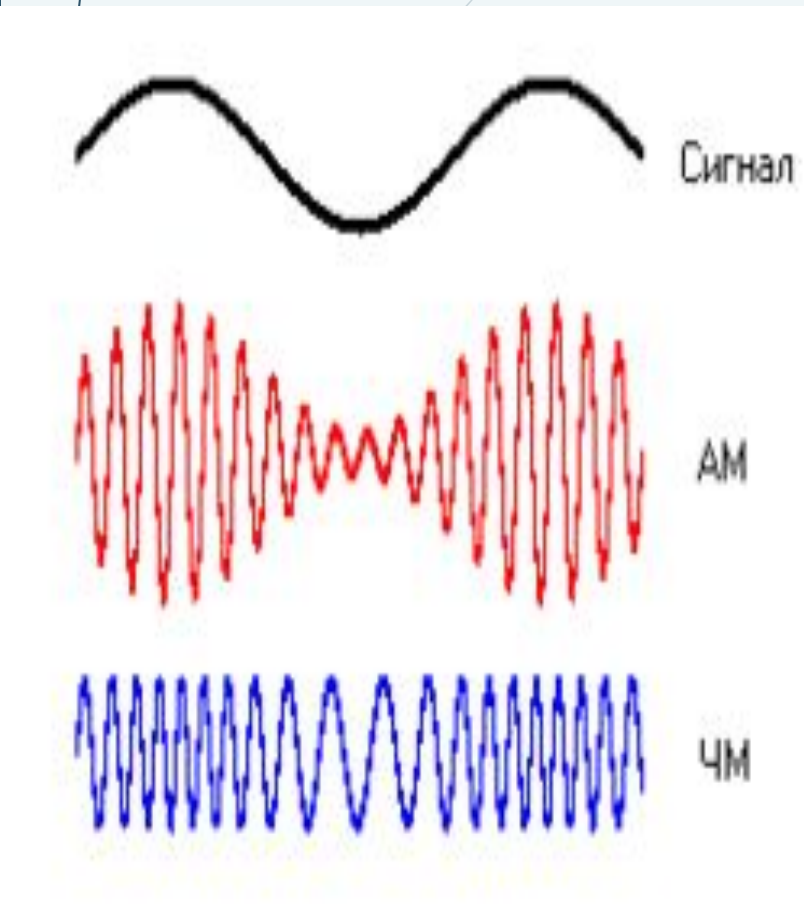
Состав линии связи



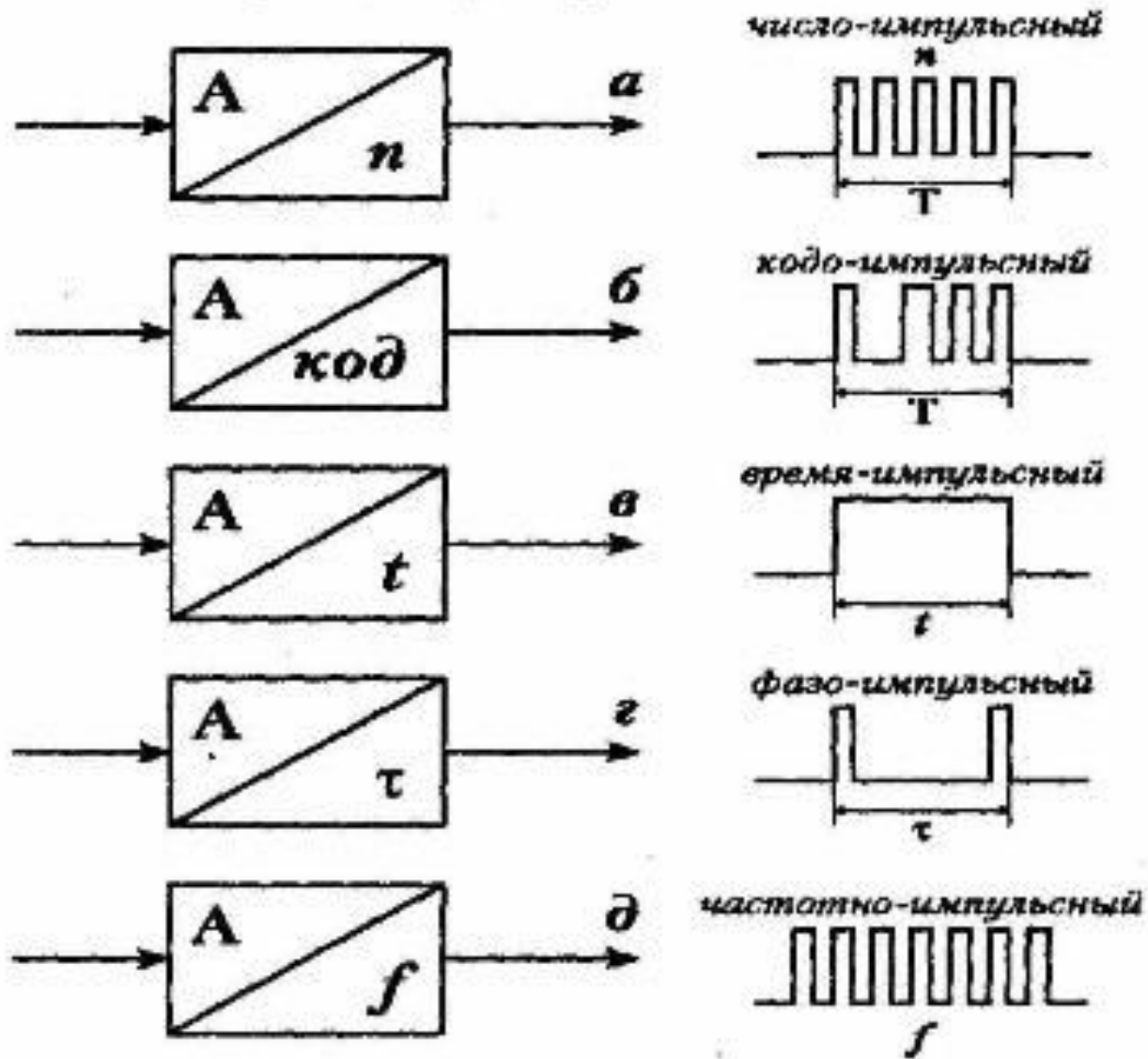
Преобразование дискретного сообщения в сигнал и сигнала в дискретное сообщение



Частотная система телемеханики. Модуляция сигналов

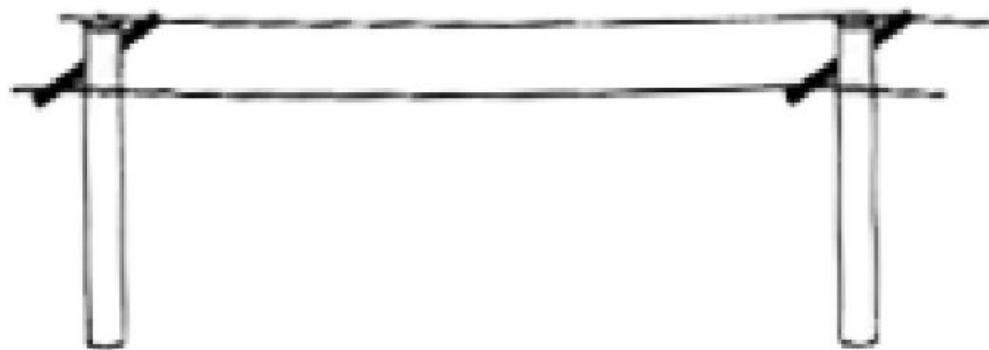


Импульсная система телемеханики. Кодирование сигналов



Типы линий связи

▶ Проводные (воздушные)



▶ Кабельные (медь)



Витая пара

или



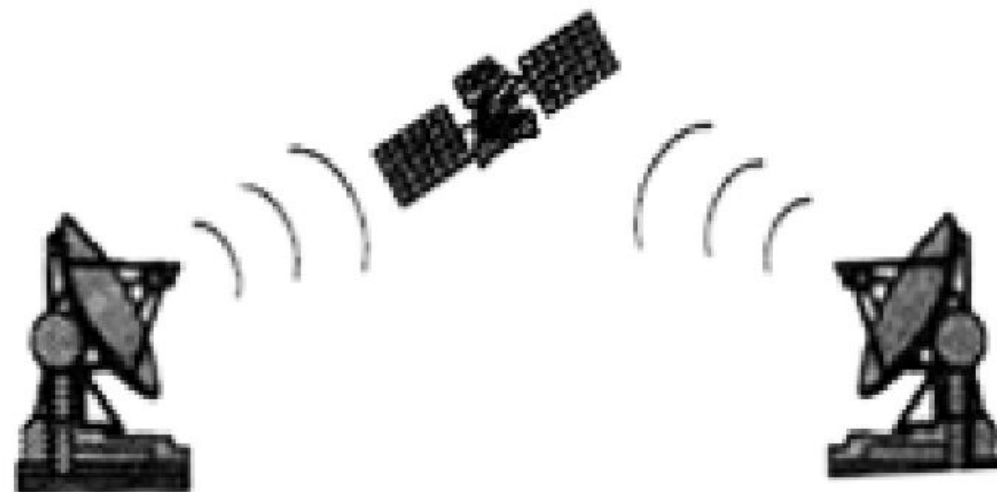
коаксиал

▶ Волоконно-оптические

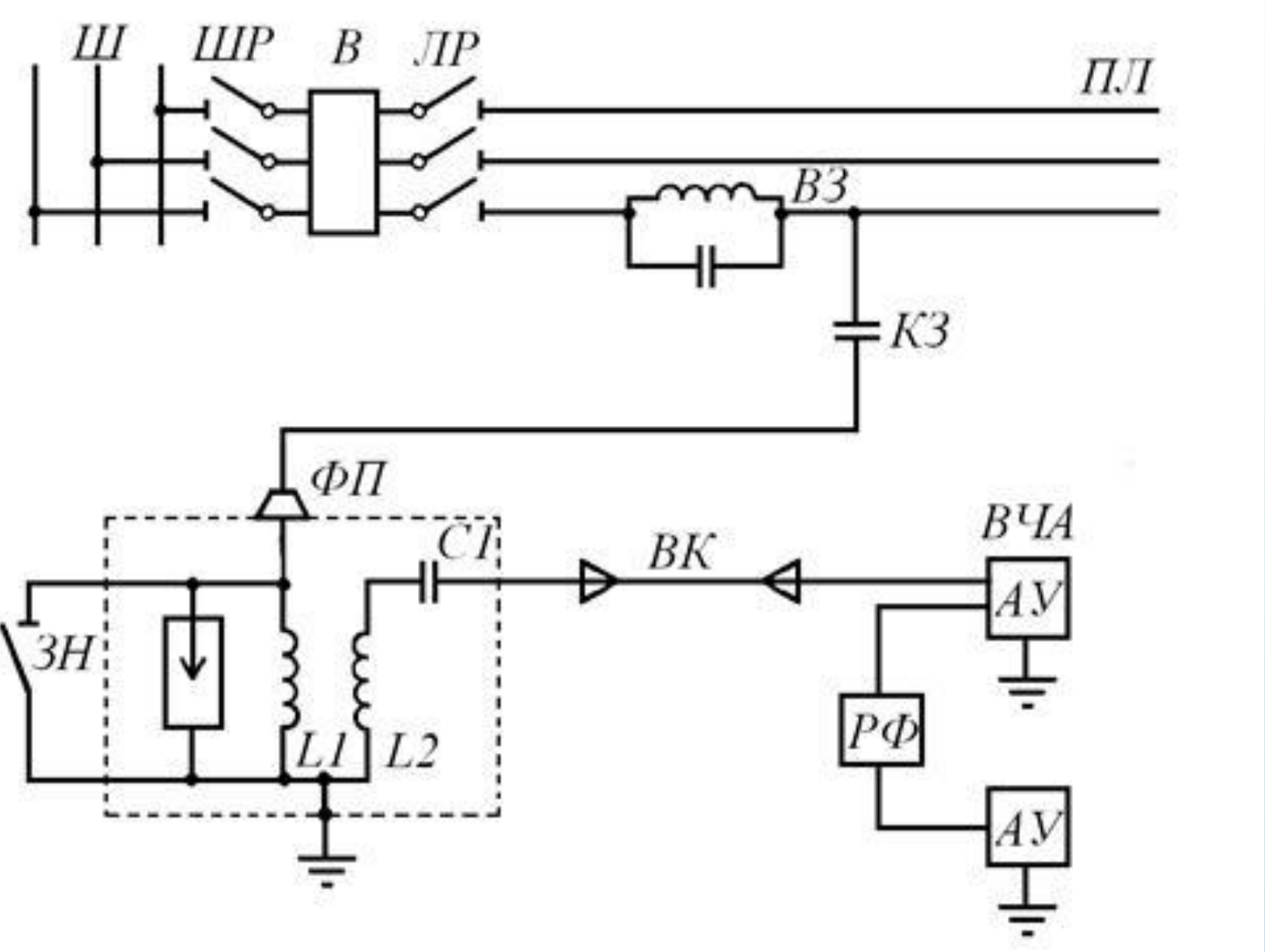


Световоды

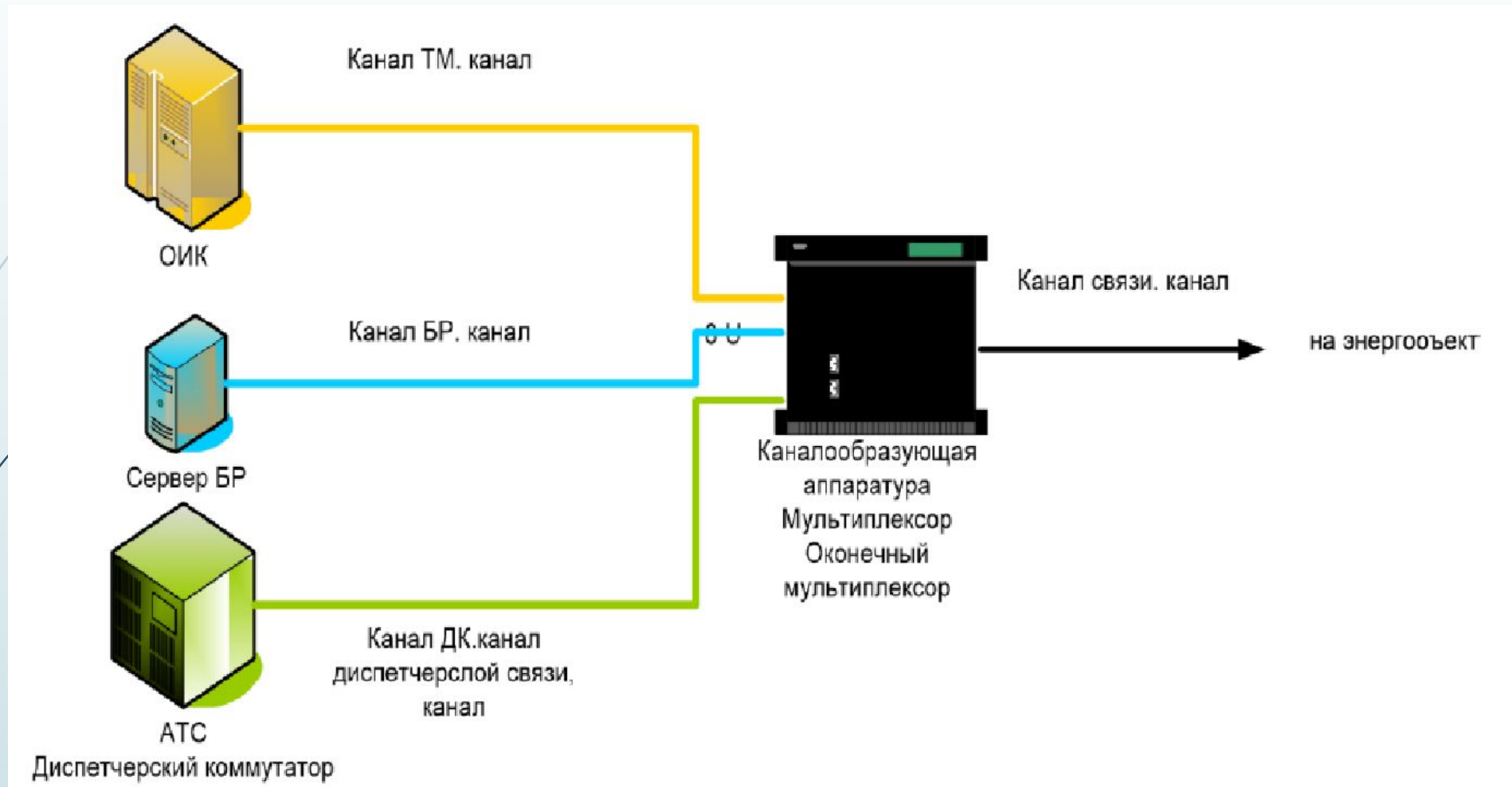
▶ Радиосигналы наземной и спутниковой связи



Присоединение высокочастотной аппаратуры связи к ВЛ



Каналы передачи данных



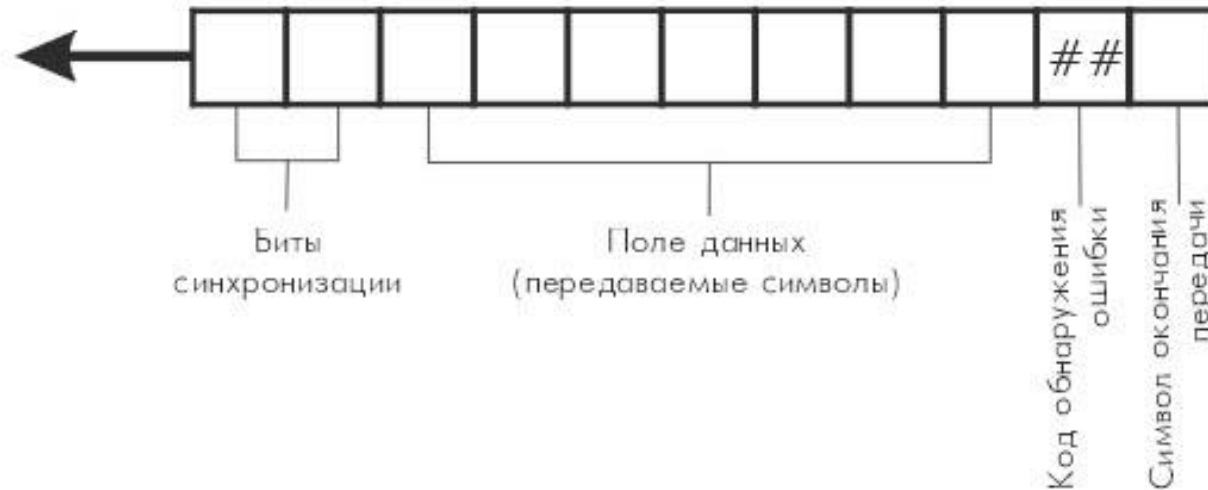
К понятию «канал передачи данных». Здесь ТМ – телемеханика; БР – балансирующий рынок; ДК – диспетчерская команда; ОИК – оперативно-информационный комплекс.

Способы синхронизации передачи данных

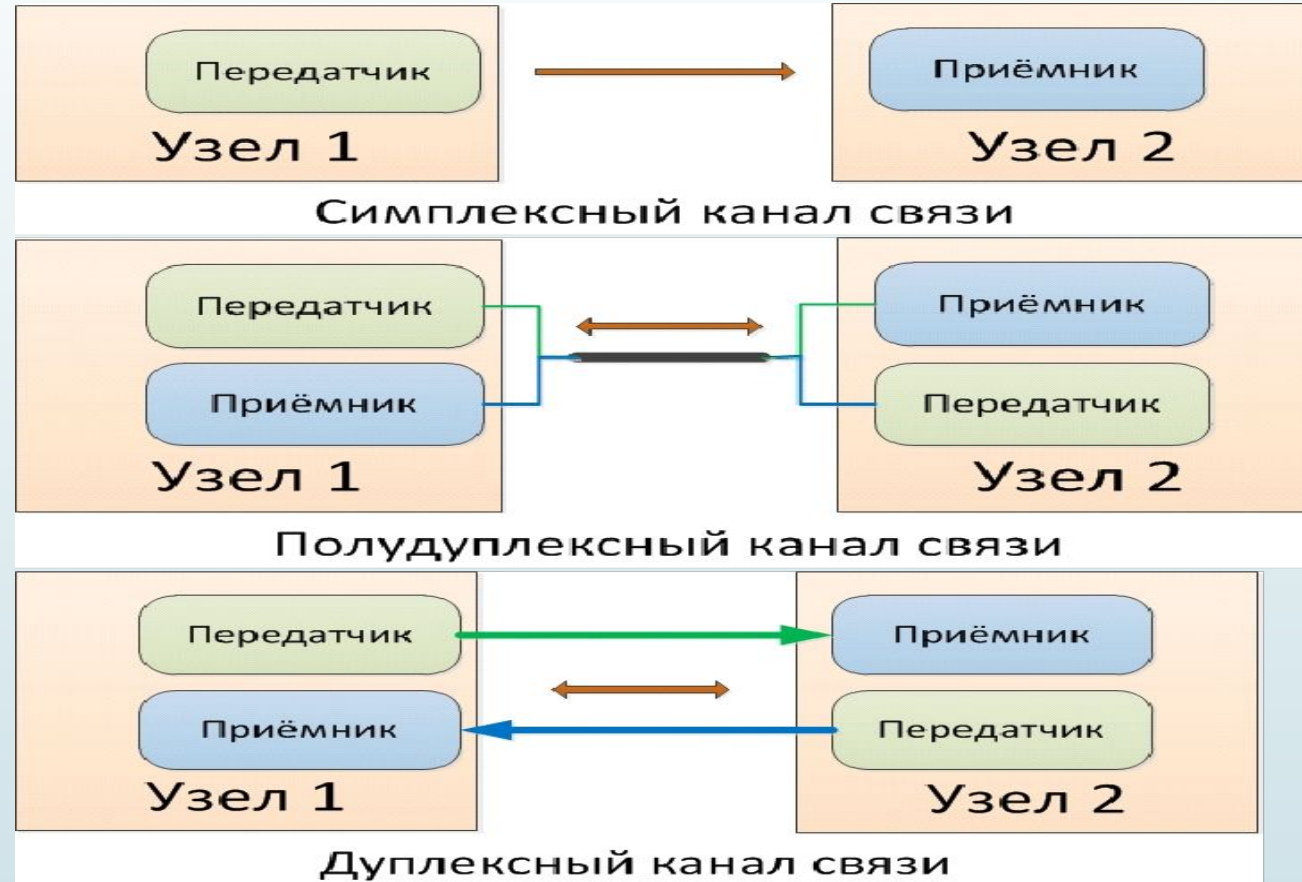
Асинхронная передача данных



Синхронная передача данных



Симплексная, полудуплексная, дуплексная передача данных



Протокол передачи данных

Синхронизация - механизм распознавания начала блока данных и его конца.

Инициализация - установление соединения между взаимодействующими партнерами по сеансу связи.

Блокирование - разбиение передаваемой информации на блоки данных строго определенной максимальной длины (включая опознавательные знаки начала блока и его конца).

Адресация - обеспечивает идентификацию различного используемого оборудования данных, которое обменивается друг с другом информацией во время взаимодействия.

Обнаружение ошибок - установка битов четности и, следовательно, вычисление контрольных битов с целью проверки правильности передачи данных.

Нумерация блоков - позволяет установить ошибочно передаваемую или потерявшуюся информацию.

Управление потоком данных - служит для распределения и синхронизации информационных потоков. Так, например, если не хватает места в буфере устройства данных или данные не достаточно быстро обрабатываются в периферийных устройствах (например, принтерах), сообщения и / или запросы накапливаются.

Методы восстановления - после прерывания процесса передачи данных используют методы восстановления, чтобы вернуться к определенному положению для повторной передачи информации.

Разрешение доступа - распределение, контроль и управление ограничениями доступа к данным вменяются в обязанность пункта разрешения доступа (например, “только передача” или “только прием”).

Протокол TCP/IP

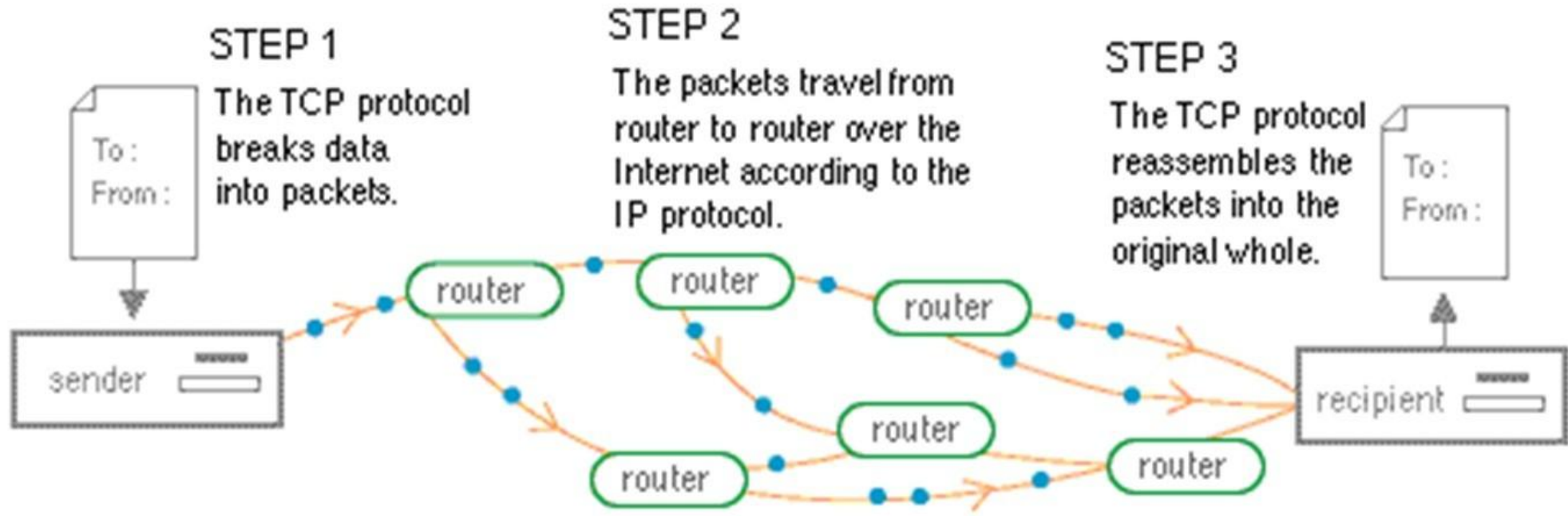
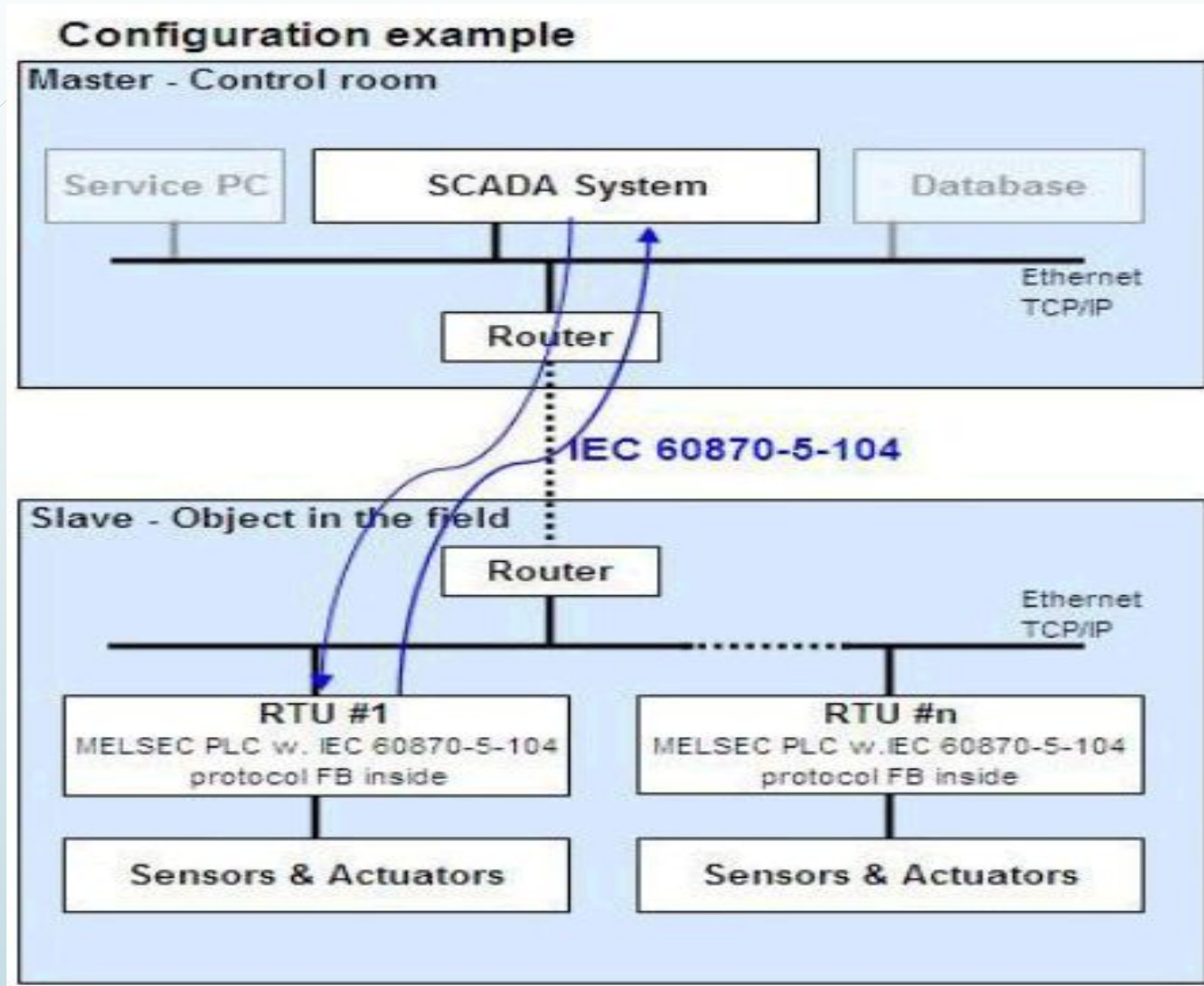
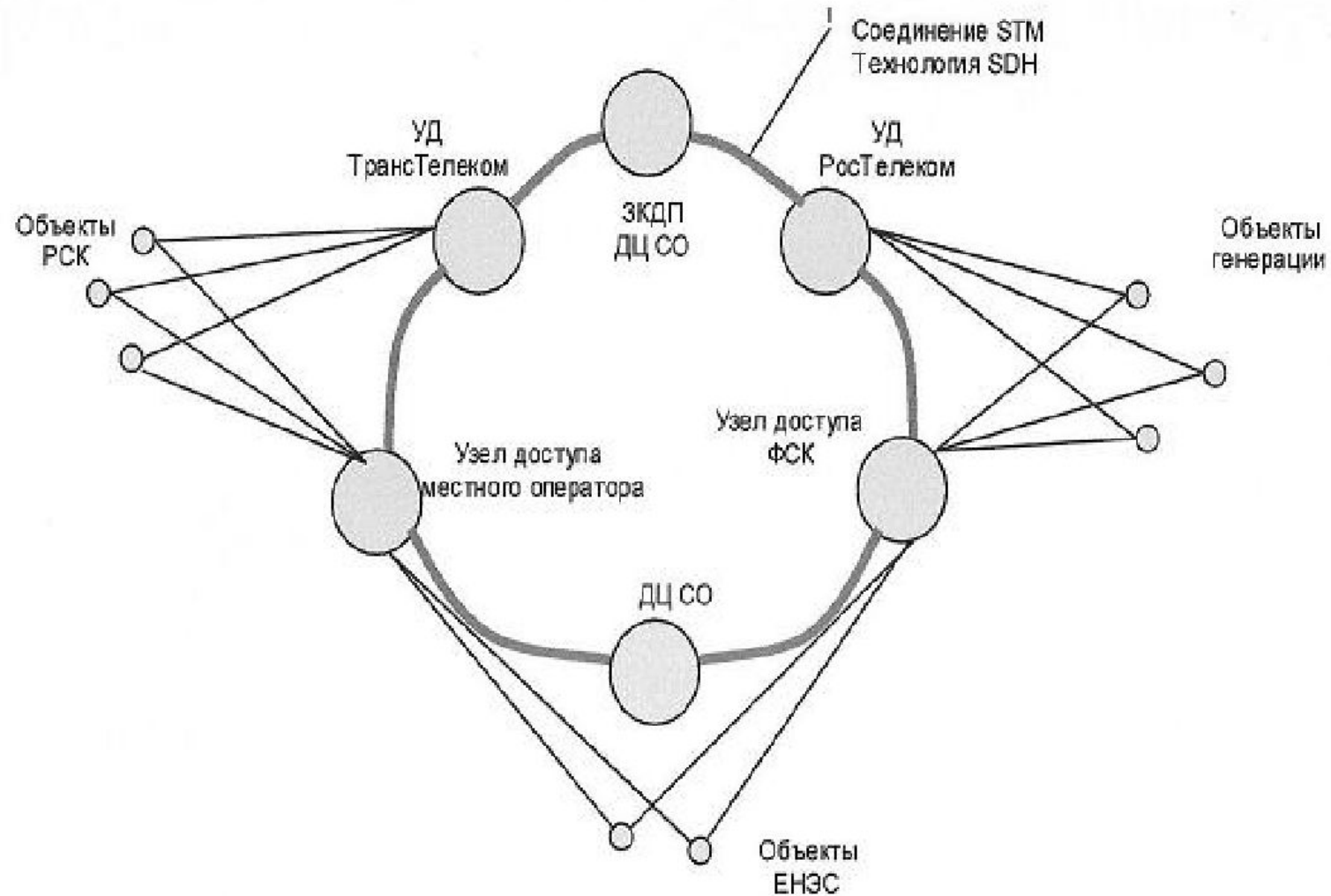


Figure 2. How data travels over the Net.

Стандарты серии IEC МЭК 60870-5



Формирования телекоммуникаций узла связи диспетчерского центра Системного оператора.



Требования надежности к «последней миле»

Характеристика	Реализация
Количество каналов	не менее двух, географически или пространственно разнесенных
Вид резервирования каналов	«горячее»
Допустимые системы передачи	<ul style="list-style-type: none">□ волоконно-оптический кабель с применением оптических мультиплексоров;□ медные пары с применением технологии <i>xDSL</i>;□ радиоканал в диапазоне частот 5,5–5,7 ГГц с применением широкополосных радиомультиплексоров
Скорость передачи	не менее 2 Мбит/с
Коэффициент готовности	не ниже 0,999

Примечание: технология *xDSL* (*Digital Subscriber Line* - цифровая абонентская линия) позволяет осуществлять передачу цифровых сигналов по существующим телефонным сетям

Комплекс технических средств внешних информационных связей ДЦ

Три относительно независимых технических системы информационных связей диспетчерских центров Системного оператора:

- ✓ системы диспетчерской телефонной связи;
- ✓ системы телемеханики (СТМ);
- ✓ системы сбора и передачи информации (ССПИ), включающие:
 - центральные приемо-передающие станции (ЦППС);
 - системы обмена технологической информацией с автоматизированной системой диспетчерского центра Системного оператора (СОТИ АССО).

Унифицированные диспетчерские сервисы связи



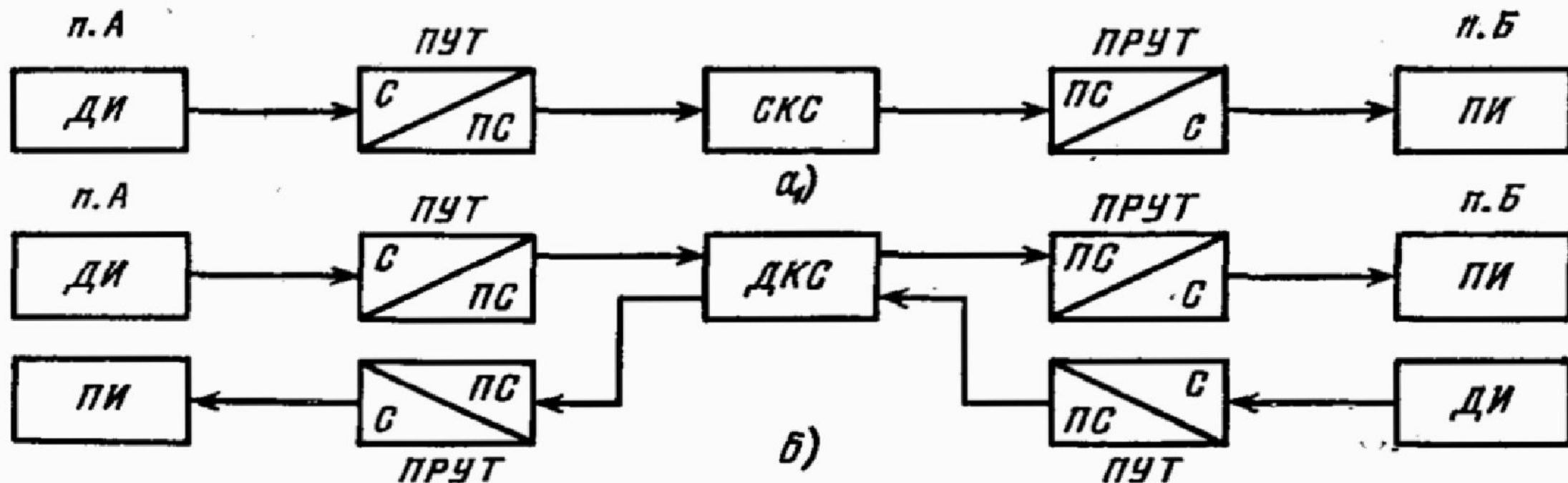


СИСТЕМА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В ЕЭС РОССИИ

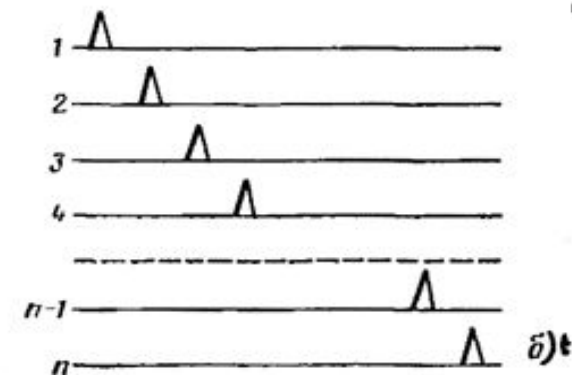
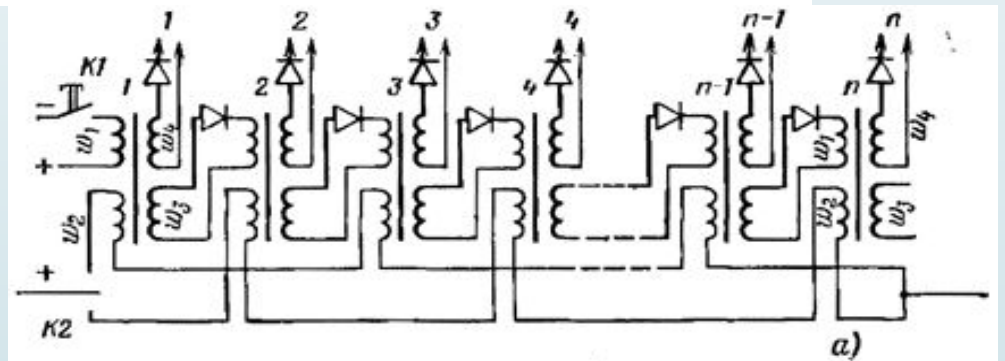
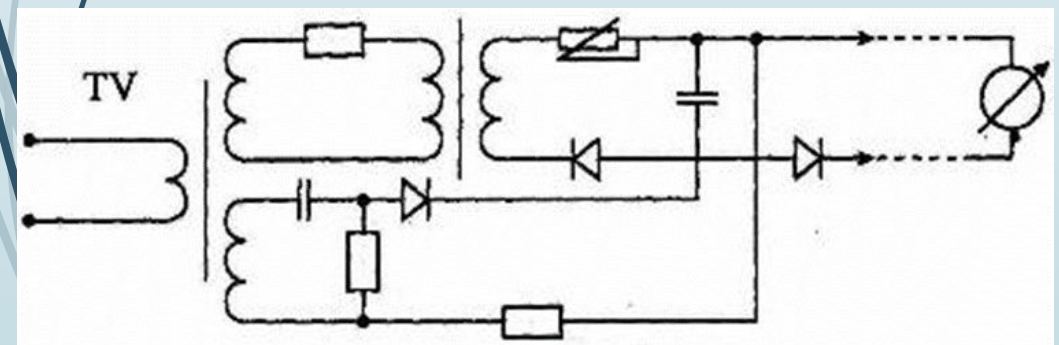
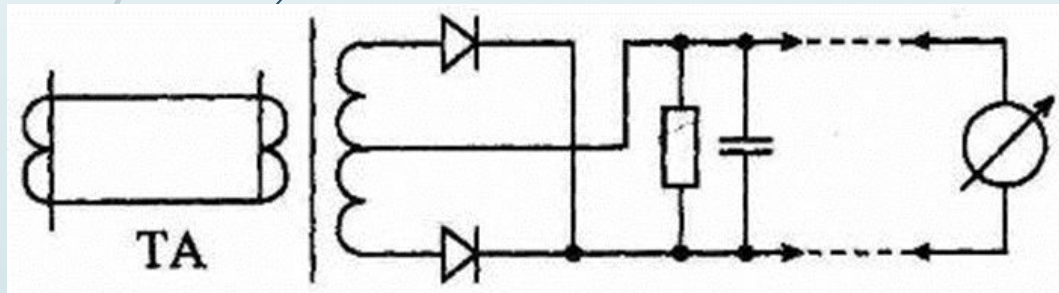
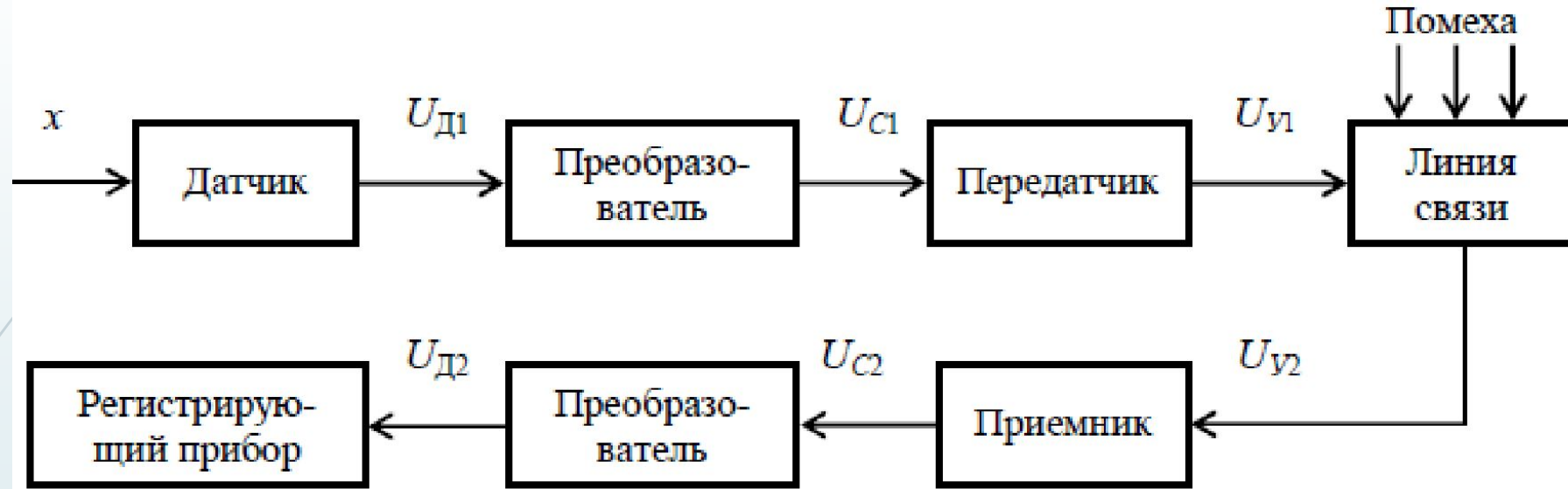
Системы телемеханики

Схема прохождения телемеханической информации

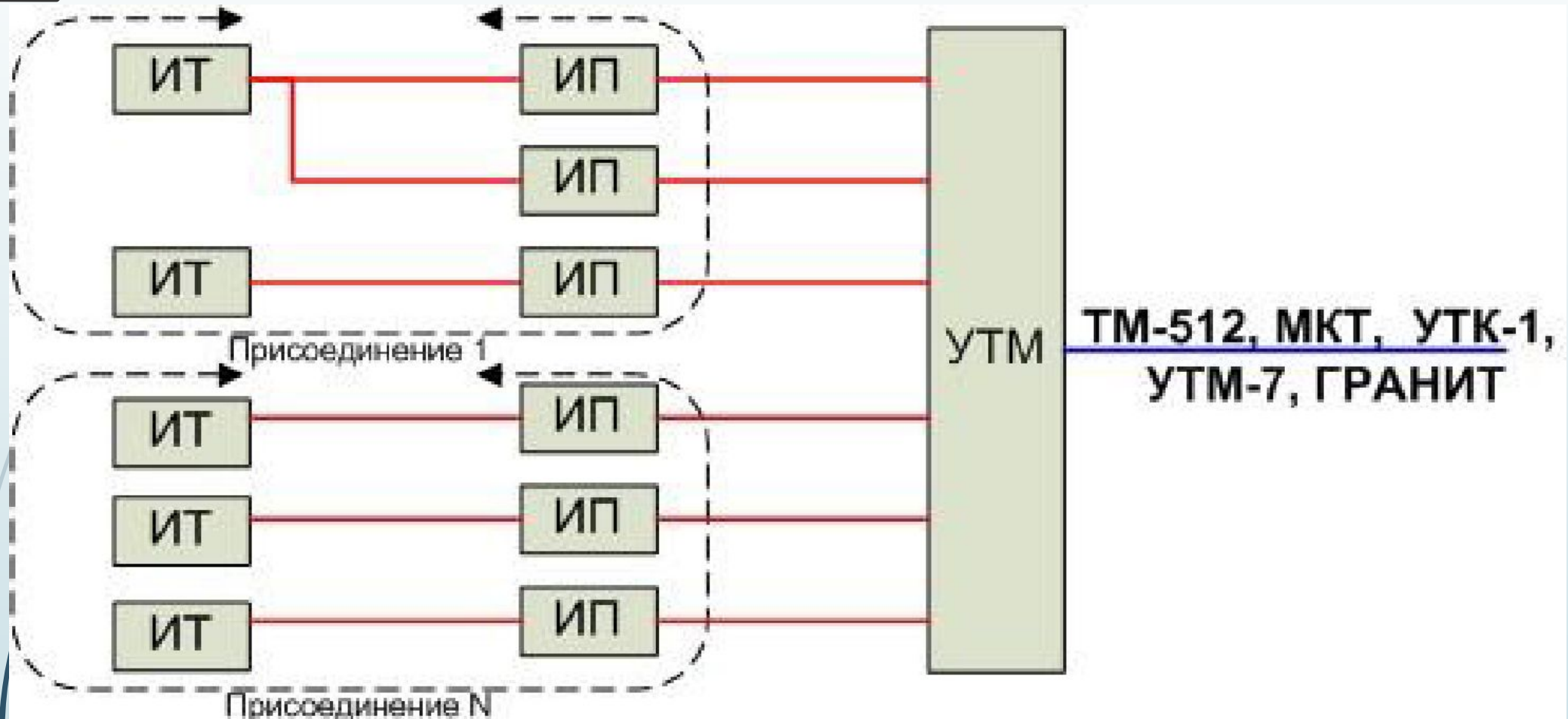
Телемеханика – это комплекс оборудования и программного обеспечения, которые обеспечивают возможность приема и передачи информации и сигналов от различных объектов, а также позволяют управлять оборудованием объектов. Системы телемеханики строятся таким образом, чтобы обеспечить высокую точность, скорость и надежность при передаче информации и сигналов, а также организацию быстрой и точной фиксации изменения параметров электрической сети, состояния оборудования.



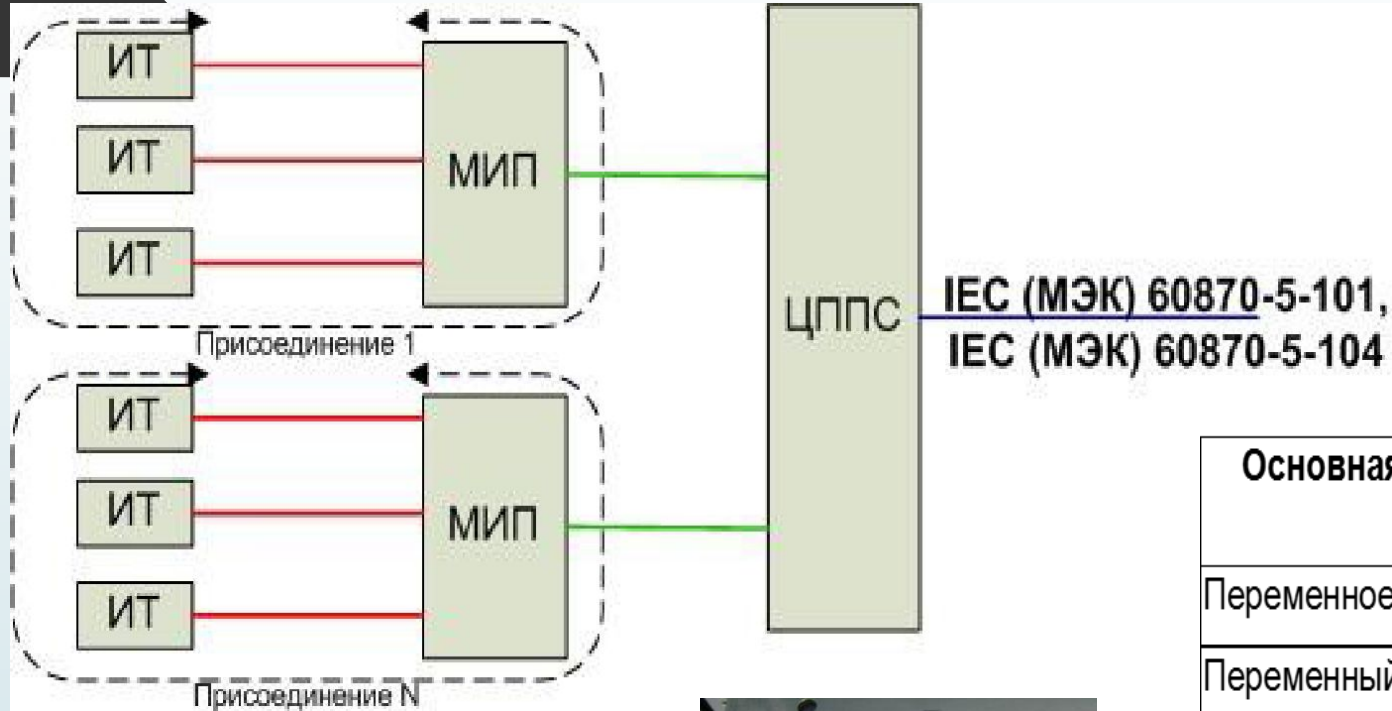
Структурная схема телеизмерения



Аналоговые системы телемеханики



Многофункциональные (цифровые) системы телемеханики



МИП-02



ПИМ ET

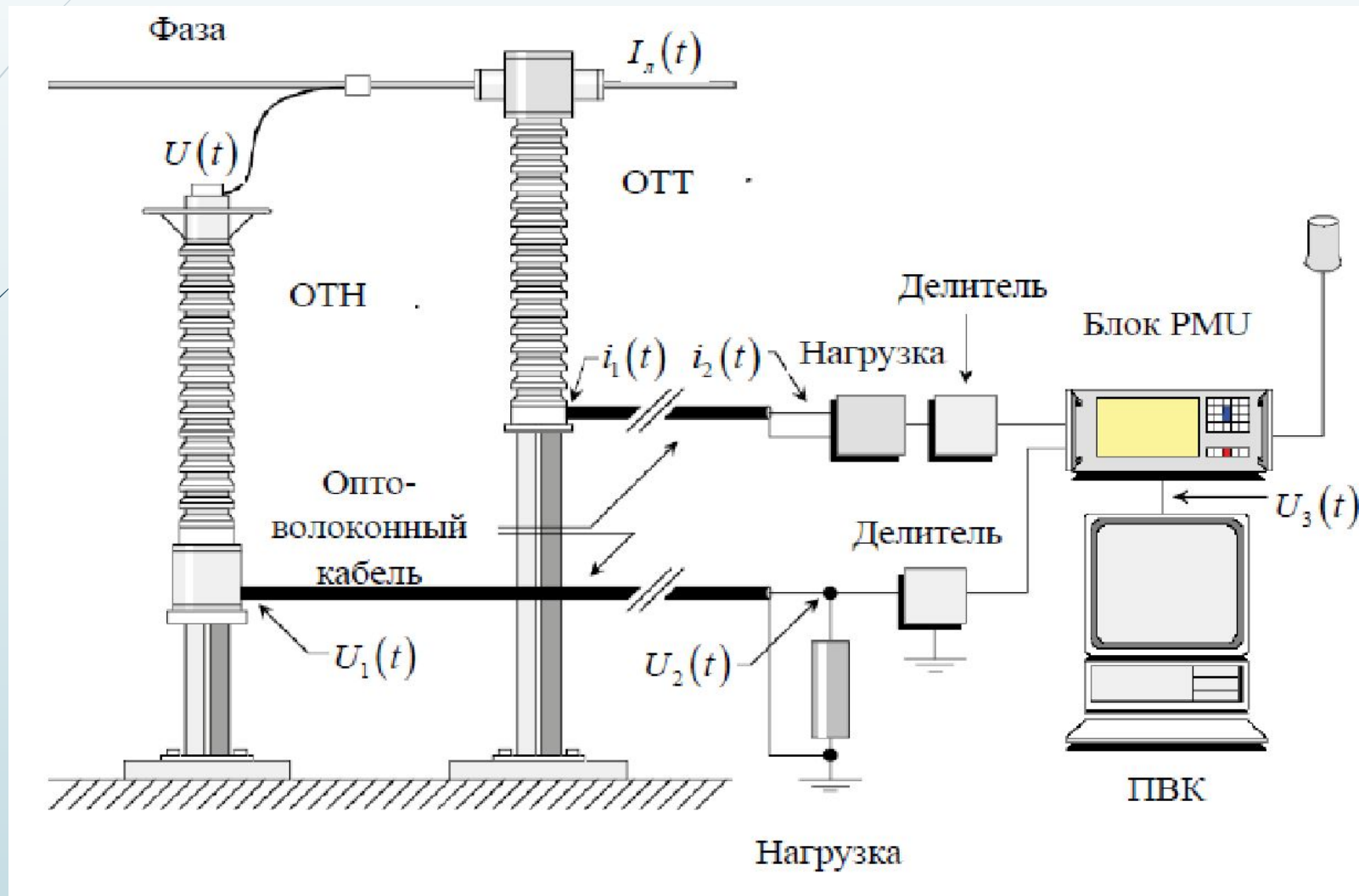


SATEC PM 175

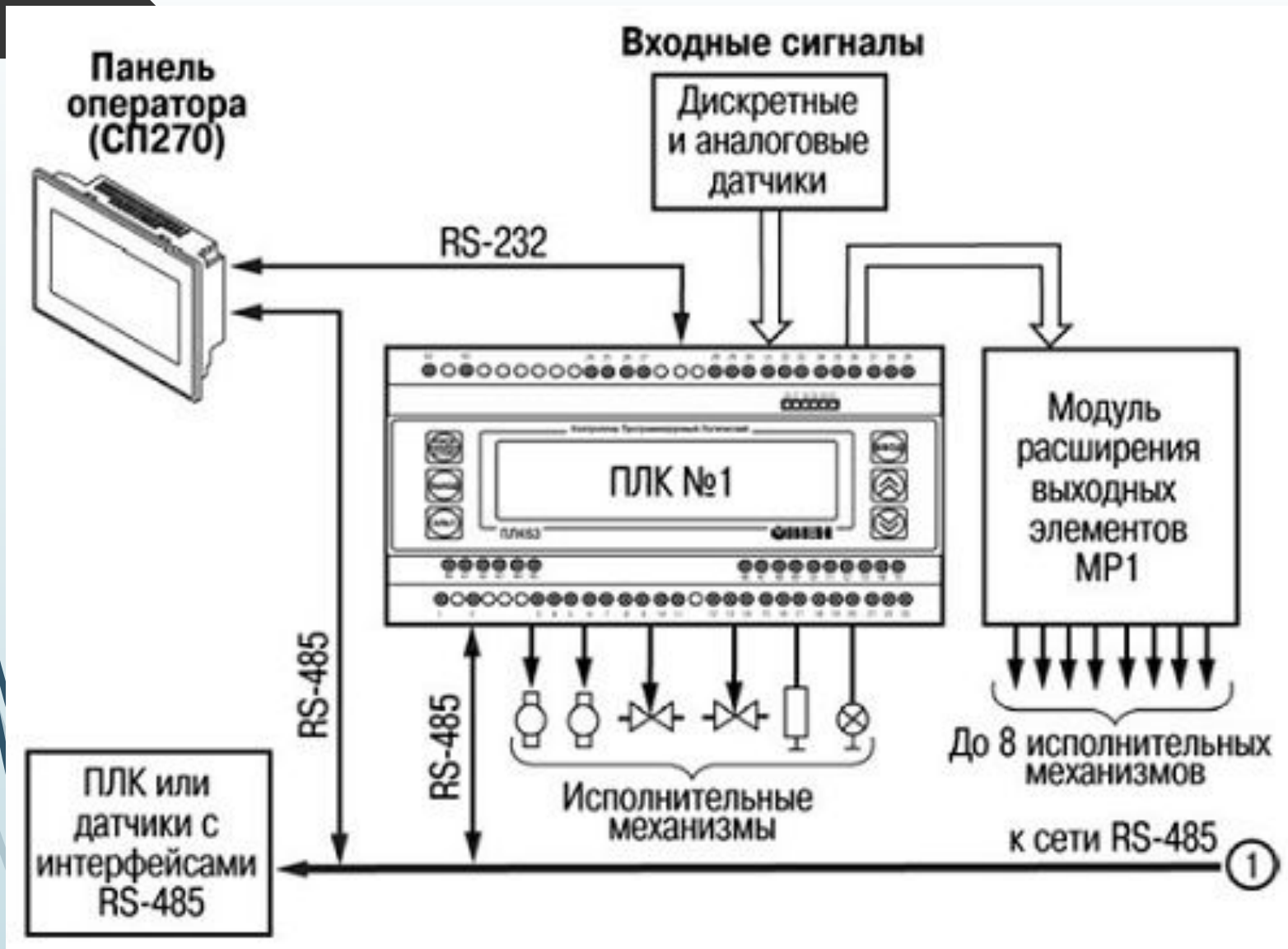
Основная относительная погрешность измерения параметров трехфазной сети	Точность
Переменное напряжение в диапазоне 5...150 В	±0,1%
Переменный ток в диапазоне 0,01...1,2 А или 0,05...6 А	±0,1%
Активная мощность	±0,2%
Реактивная мощность	±0,5%
Полная мощность	±0,2%
Частота (при наличии импульса PPS приемника GPS/ГЛОНАСС)	±0,001 Гц
Частота (при отсутствии импульса PPS приемника GPS/ГЛОНАСС)	±0,002 Гц

Phasor Measurement Units – PMU

Устройство синхронизированных векторных измерений - УСВИ



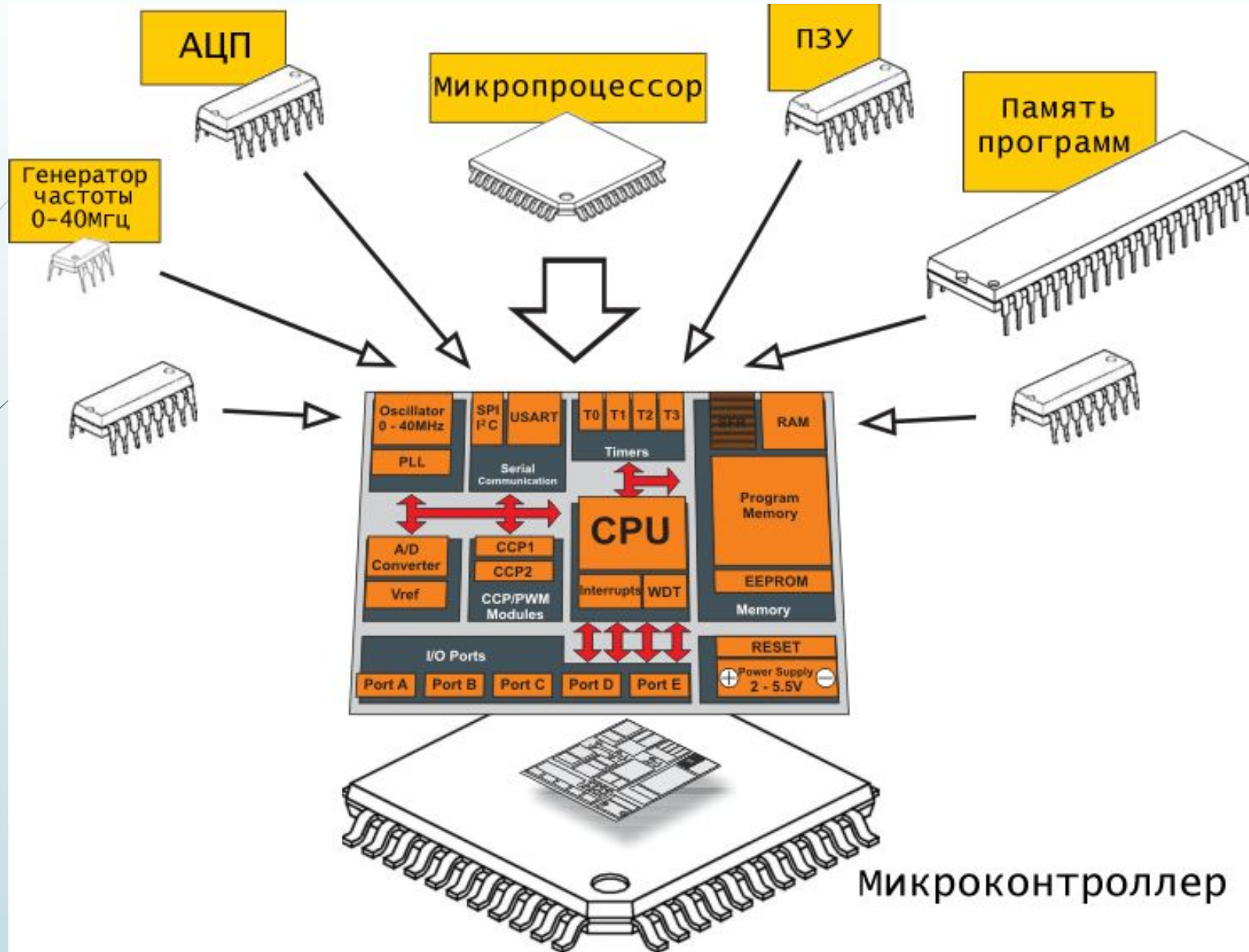
Программируемые логические контроллеры



Система, основанная на микропроцессоре



Внутреннее устройство микроконтроллера



Центральная приемо-передающая станция уровня энергообъекта



Функции ЦППС уровня энергообъекта:

- прием информации от устройств телемеханики, размещенных на территориально распределенных объектах;
- первичная обработка телеинформации (масштабирование, фильтрация, сглаживание, контроль на достоверность и др.);
- передача информации в устройство отображения на диспетчерском щите объекта;
- ретрансляция телеинформации на верхний уровень АСДУ и на смежные диспетчерские пункты;
- контроль состояния устройств сбора телеинформации и каналов связи;
- архивирование телеинформации, а также информации о состоянии оборудования, каналов связи, устройств;



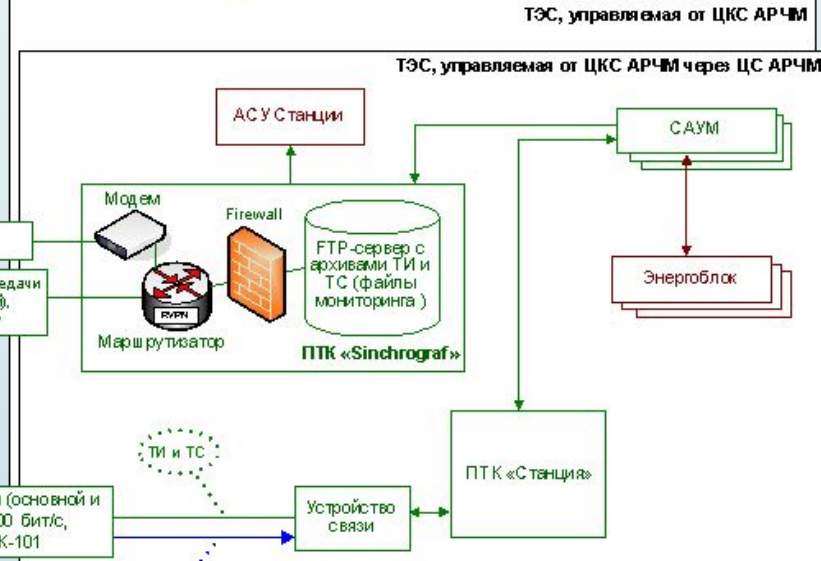
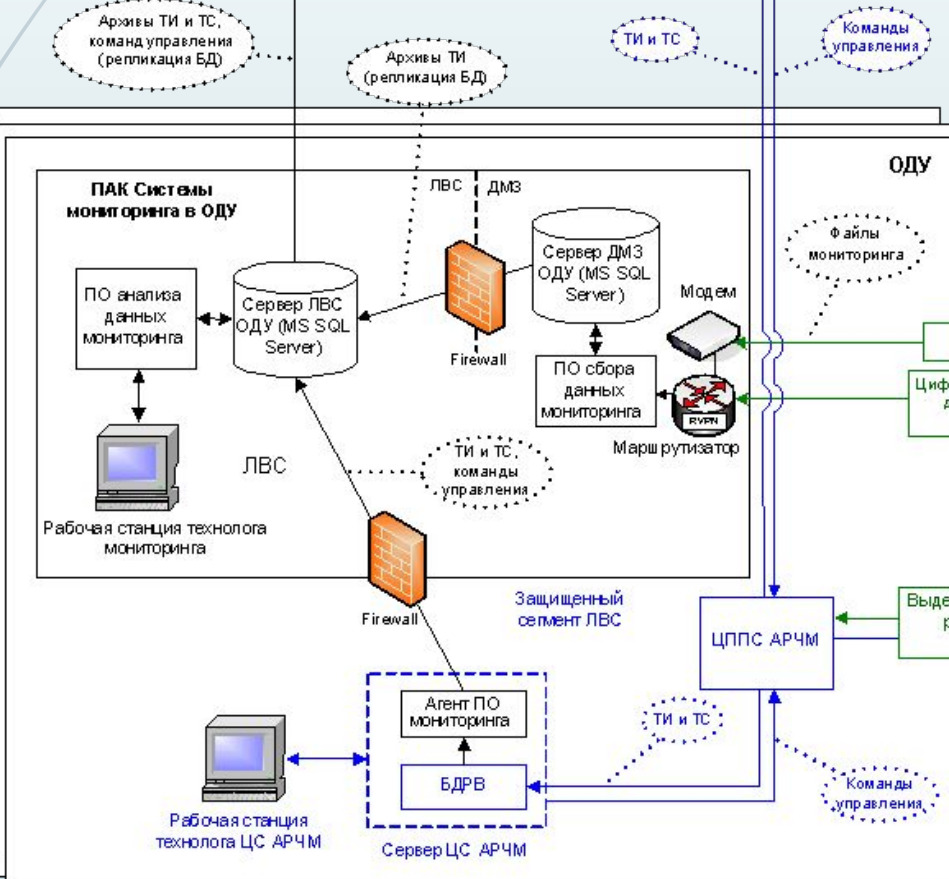
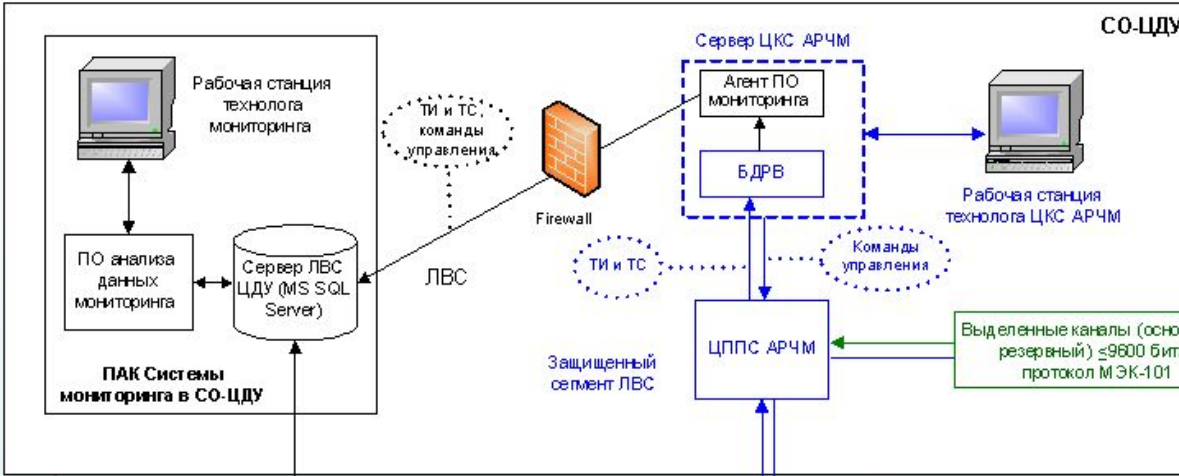
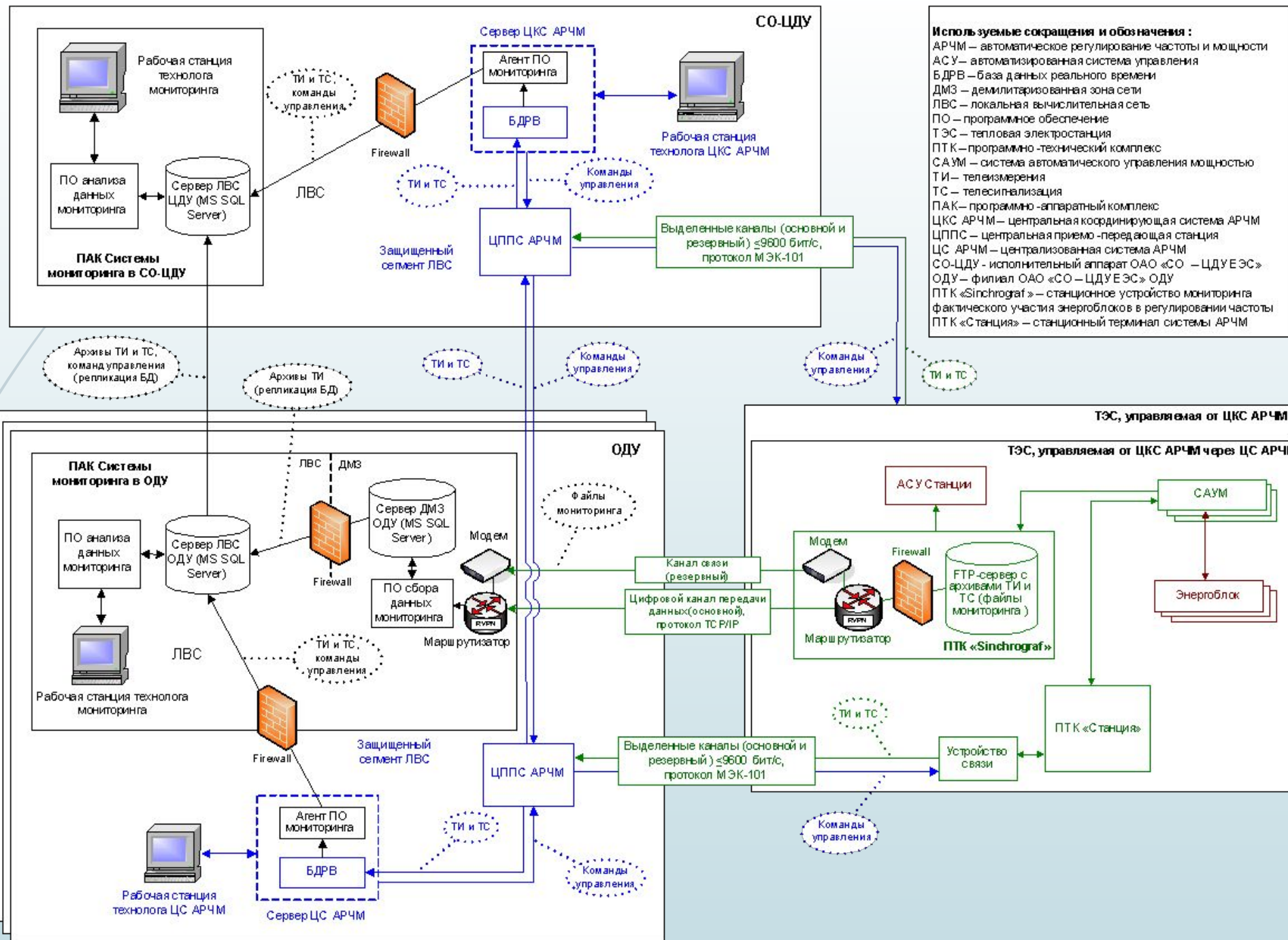
СИСТЕМА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ В ЕЭС РОССИИ

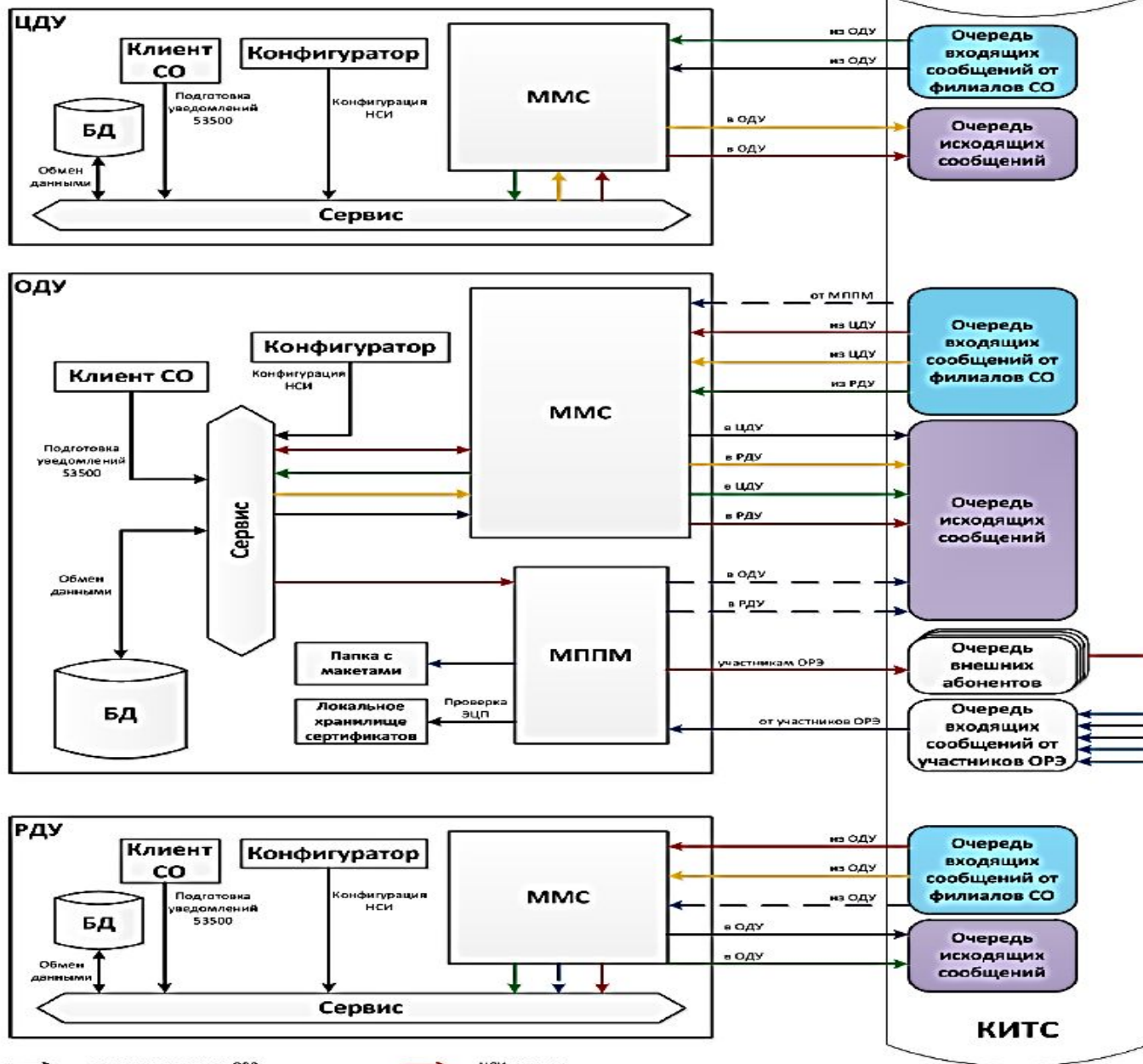
Системы сбора и передачи информации

Системы сбора и передачи информации (ССПИ)

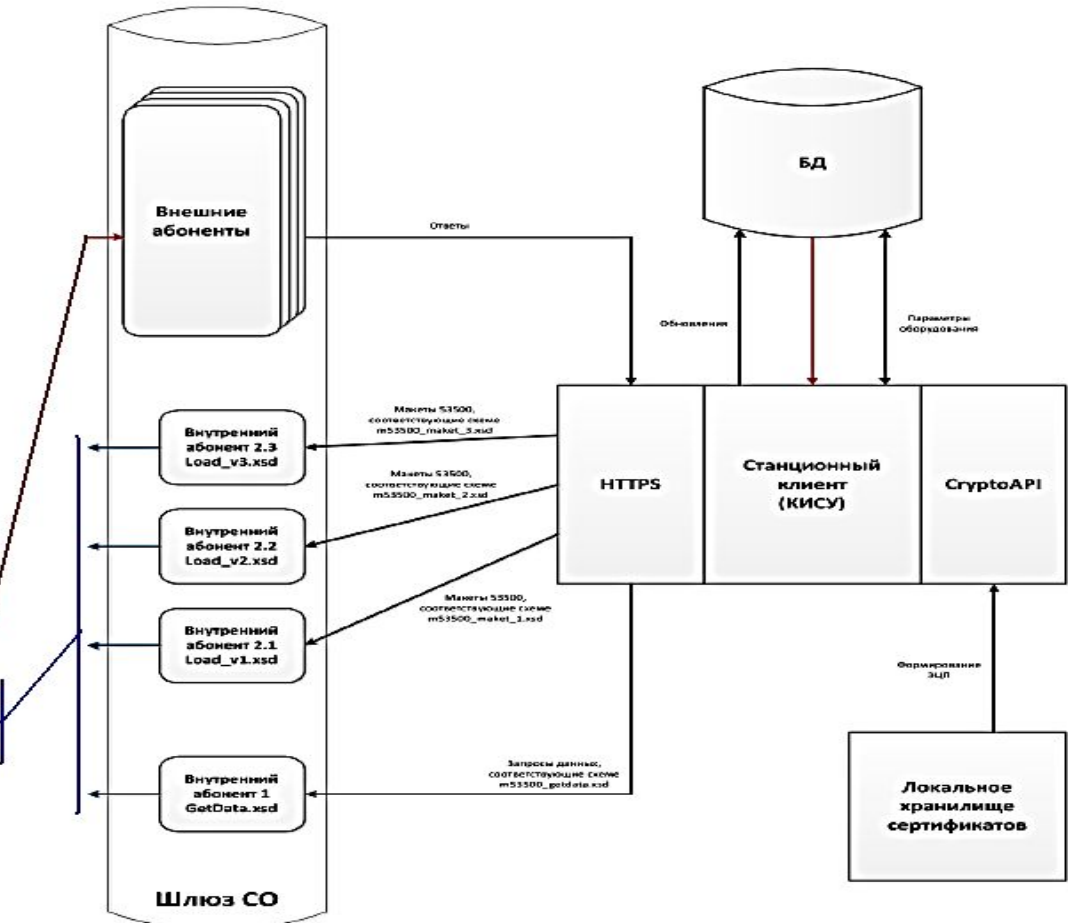
Система передачи данных (СПД) – система, предназначенная для передачи данных как внутри различных систем инфраструктуры организации, так и между ними, а также с внешними системами:

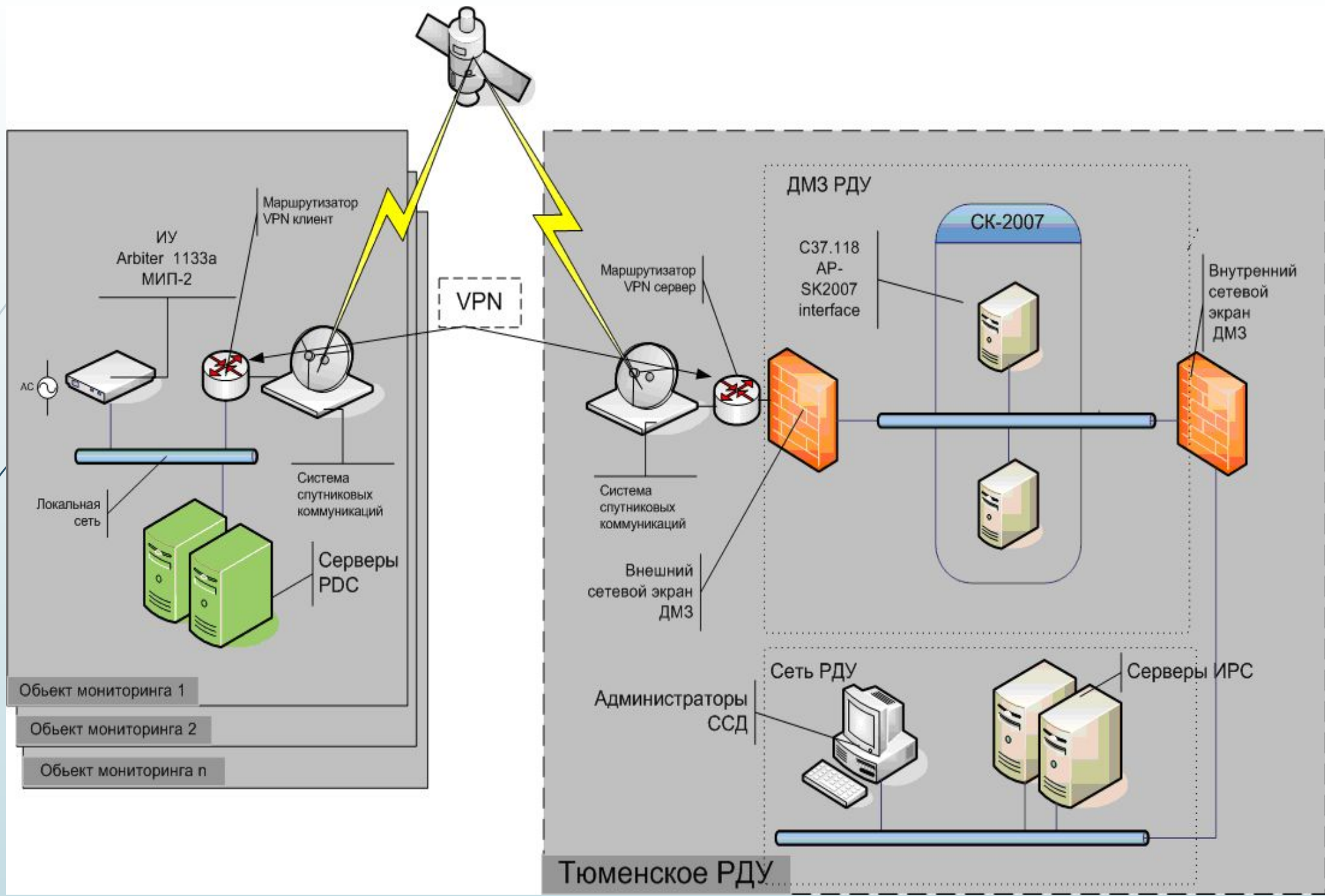
- сетевой коммутатор – устройство для соединения нескольких узлов компьютерной сети в пределах одного или нескольких сегментов сети;
- маршрутизатор (роутер) - специализированный сетевой компьютер, имеющий два или более сетевых интерфейсов и пересылающий пакеты данных между различными сегментами сети;
- межсетевой экран (файервол, брандмауэр) – программный или программно-аппаратный элемент компьютерной сети, осуществляющий контроль и фильтрацию проходящего через него сетевого трафика в соответствии с заданными правилами;
- шлюз и мост - аппаратный маршрутизатор или программное обеспечение для сопряжения компьютерных сетей, использующих разные протоколы (например, TCP/IP – глобальный и Modbus RTU - локальный);
- мультиплексор данных - устройство или программа, позволяющая передавать по одной коммуникационной линии или каналу передачи одновременно несколько различных потоков данных;
- конвертер физической среды или протоколов передачи – программно-аппаратные средства, преобразующие соответственно среду или протокол в новую форму или систему координат;
- точки доступа - беспроводная базовая станция, предназначенная для обеспечения беспроводного доступа к уже существующей сети (беспроводной или проводной) или создания новой беспроводной сети;
- клиентское оборудование (оконечное оборудование данных) - в сетевых технологиях - устройство:
 - генерирующее или принимающее данные в соответствии с принятыми протоколами;
 - функционирующее под управлением прикладного процесса.





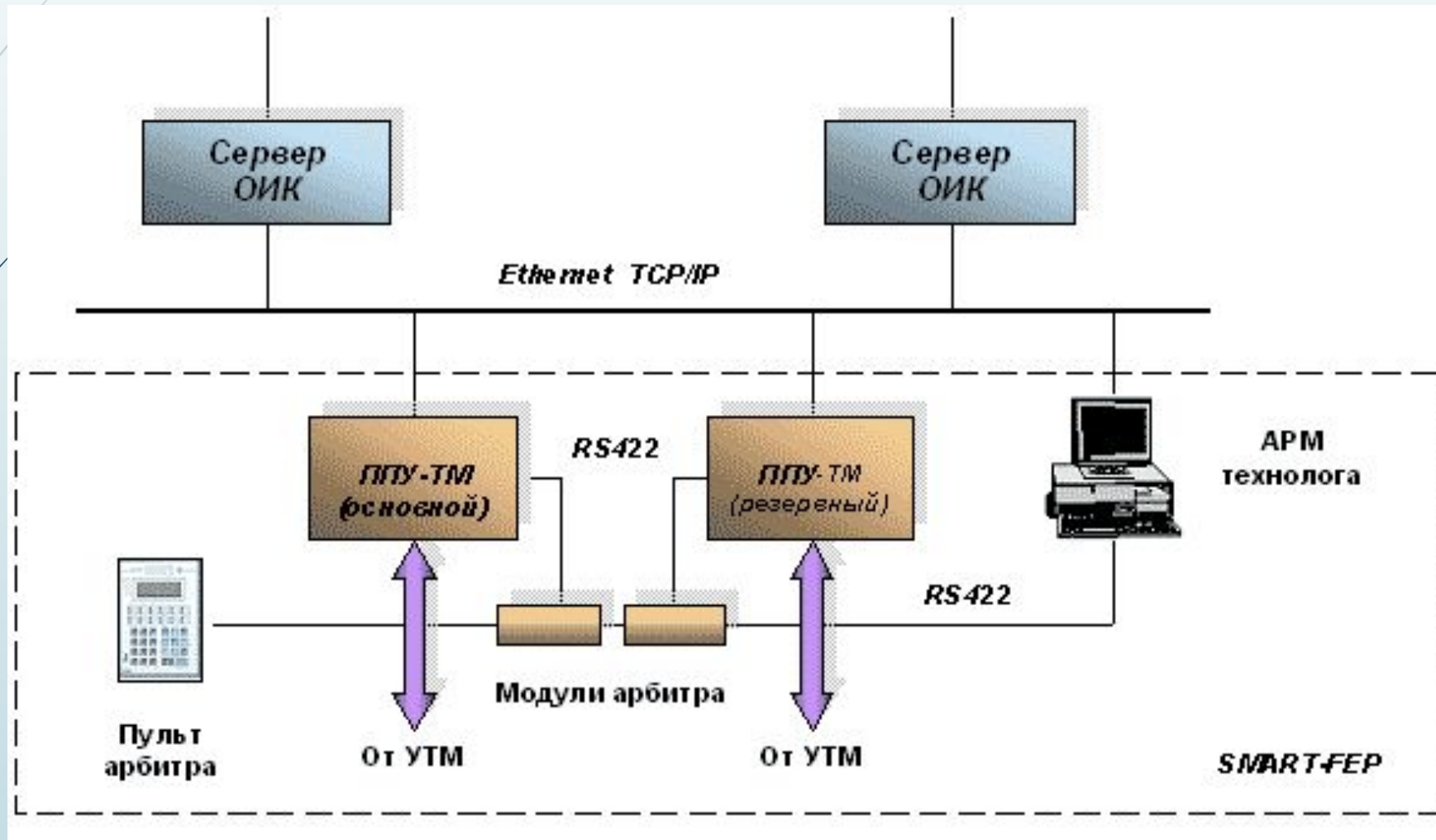
Архитектура системы MODES-Terminal





Центральная приемо-передающая станция (ЦППС)

ЦППС - это коммуникационное устройство, предназначенное для сбора и обработки данных при построении локальных и распределенных систем автоматизации и телемеханизации энергосистем с передачей телемеханической информации оперативно-информационным комплексам (ОИК) диспетчерских центров и с возможностью ретрансляции телеинформации на другие объекты энергосистем.

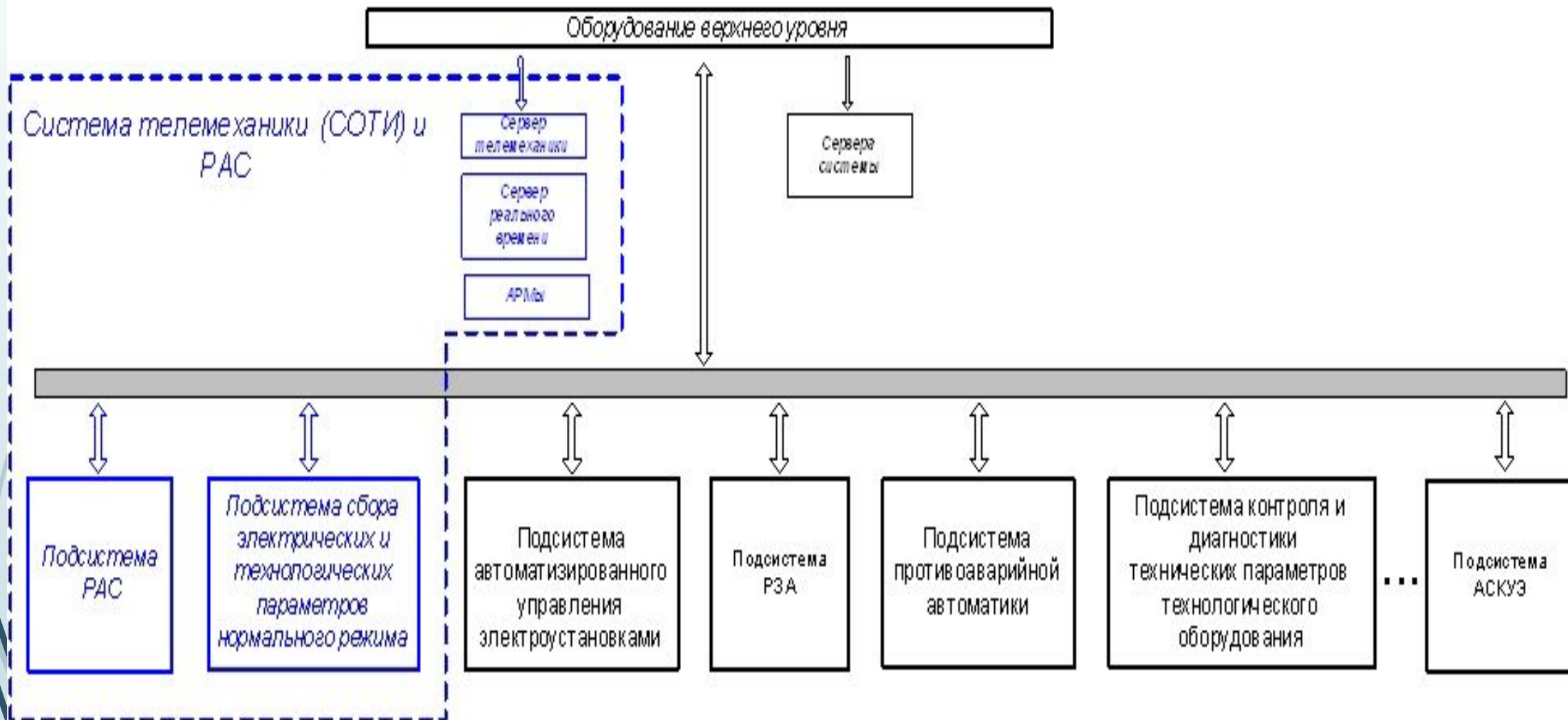


Центральная приемо-передающая станция (ЦППС)

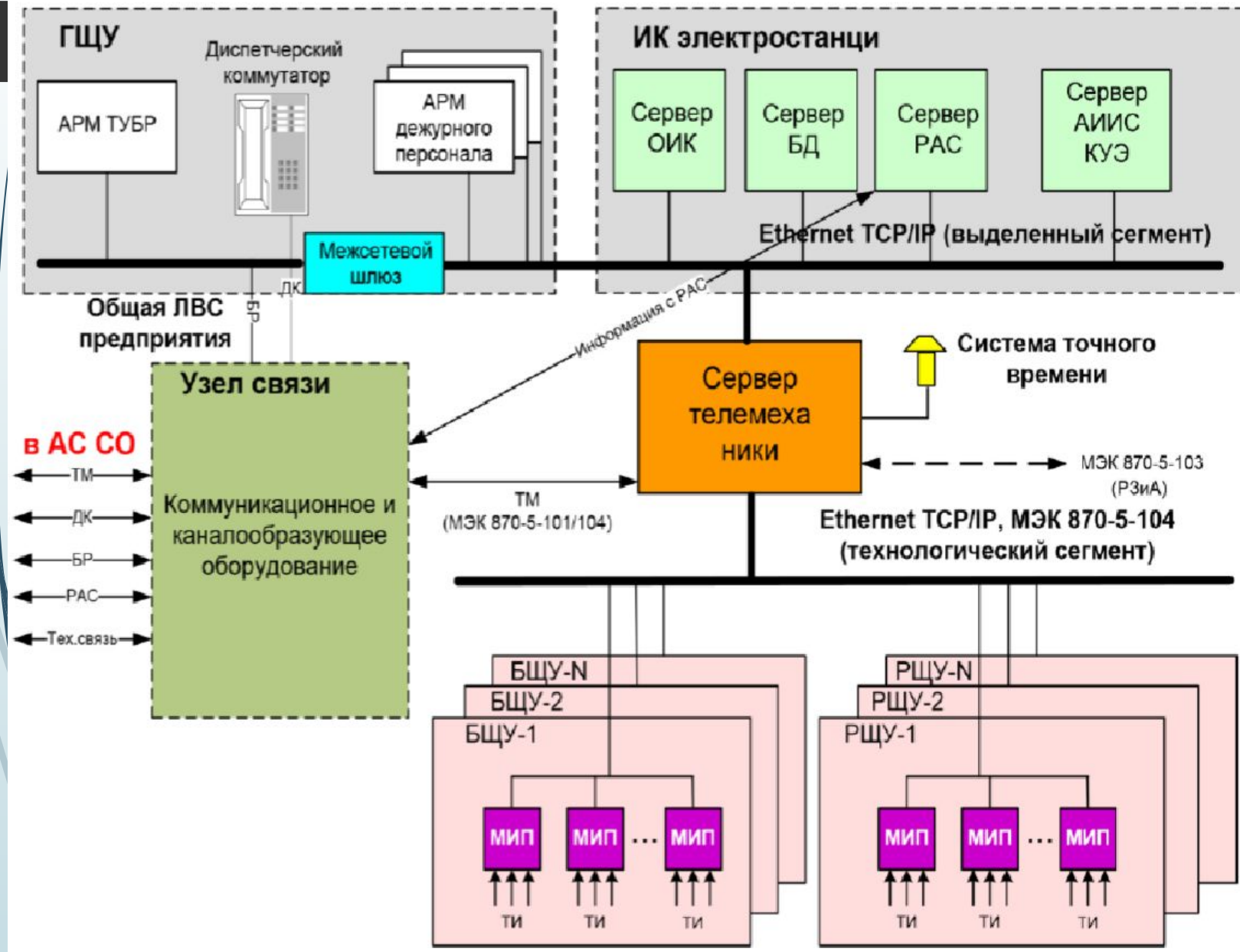
«*SMART-FEP*» - приемо-передающее устройство телемеханики ППУ-ТМ, реализованное как *Front-End-Processor (FEP)*, т. е. предвключенный процессор, осуществляющий **первичную** протокольную обработку данных, поступивших по каналам телемеханики. Дополнительно «*SMART-FEP*» осуществляет корректировку системного времени, если в составе ЦППС имеется измеритель времени, корректируемый от сигналов спутниковых систем *GPS/ГЛОНАСС*.



Построение АСУ ТП электрической части энергообъекта

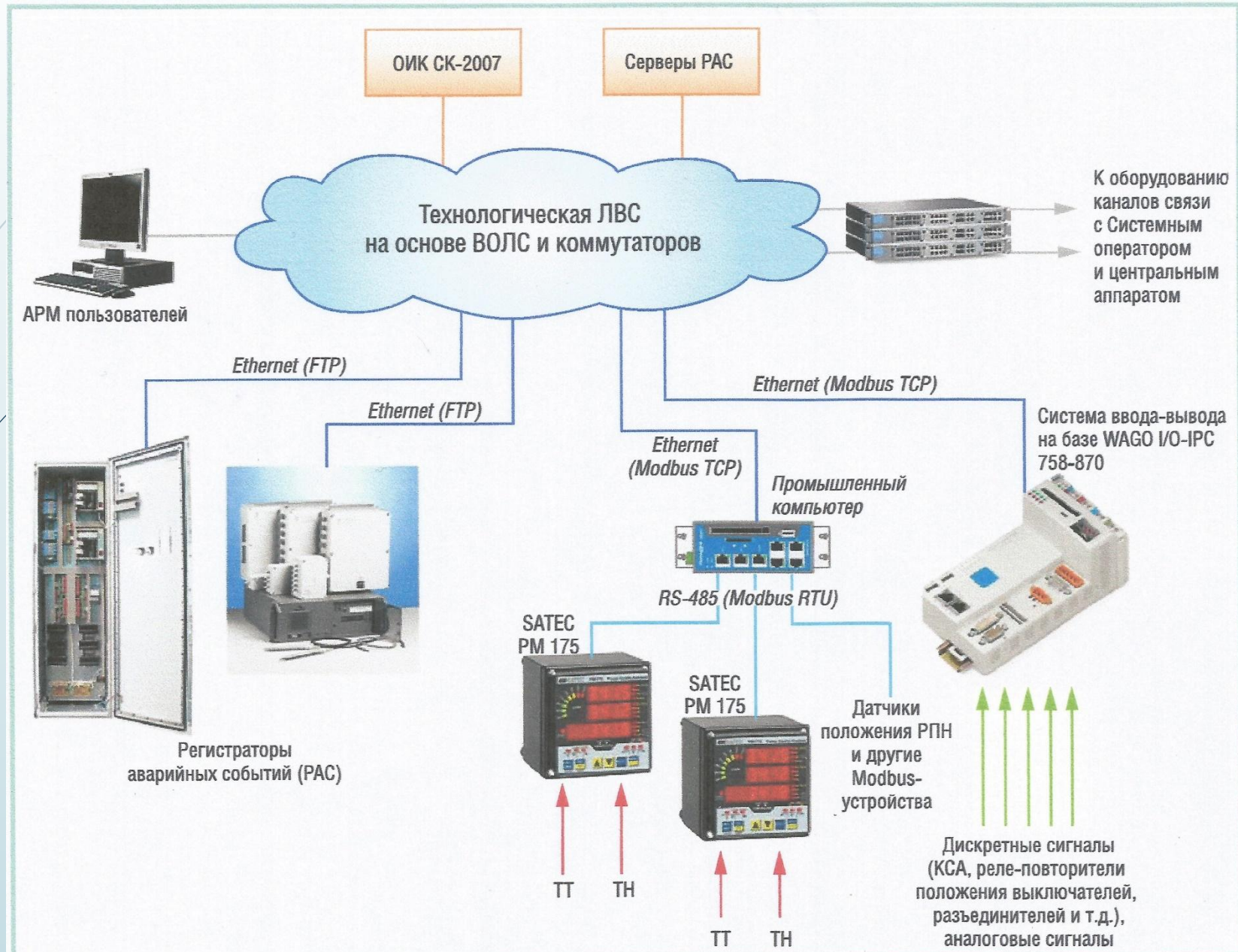


Система обмена технологической информацией крупной ТЭС



ОИК – оперативно-информационный комплекс ТЭС;
ТУБР - терминал участника балансирующего рынка;
РАС – регистратор аварийных событий;
АИИС КУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета;
ГЩУ, БЩУ и РЩУ – соответственно главный, блочный и резервный щит управления;
МИП – многофункциональный измерительный преобразователь

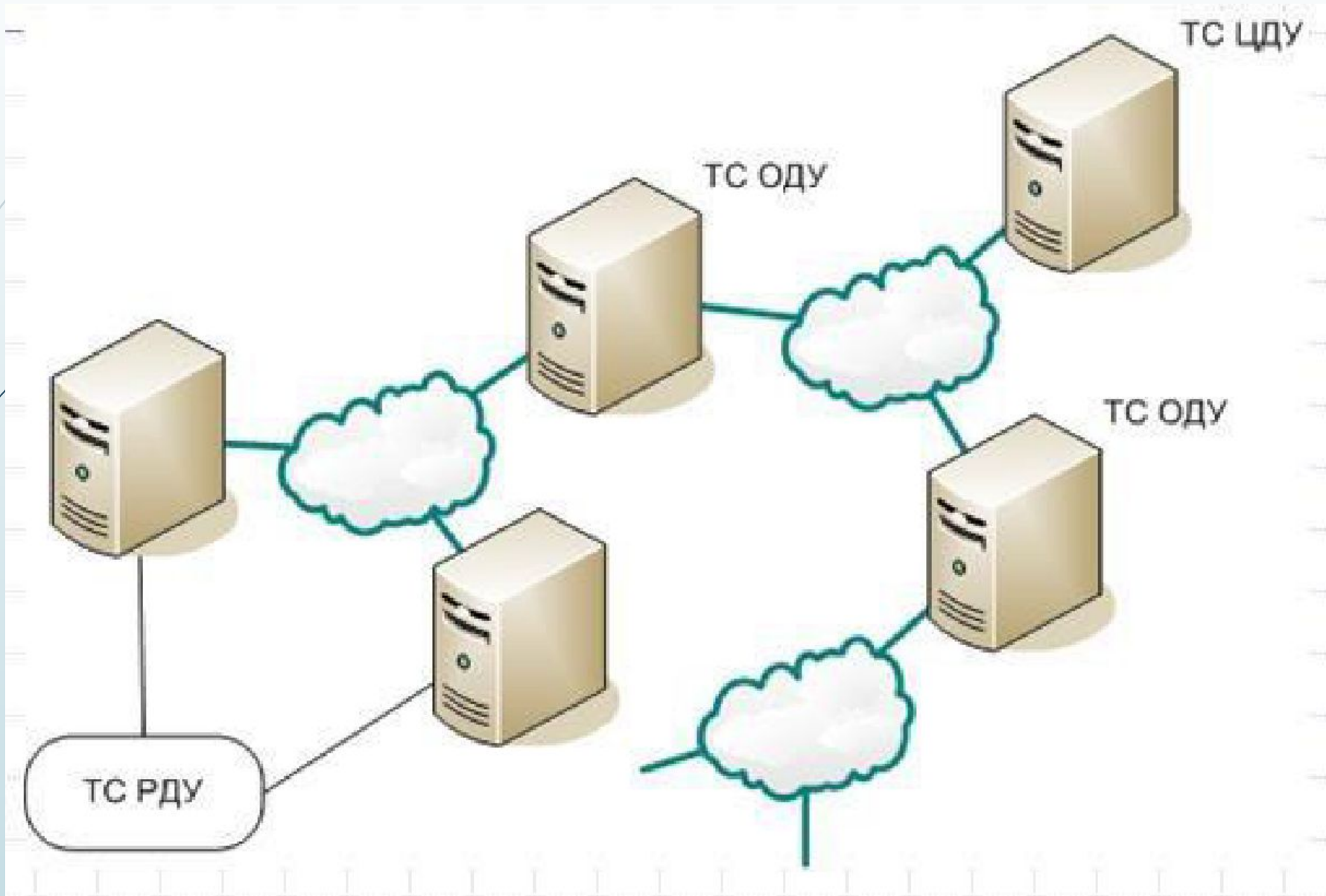
Типовая схема СОТИ АССО АЭС




Средства отображения СОТИ АССО АЭС



Единая корпоративная сеть передачи данных





АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Автоматизированная система диспетчерского управления

(АСДУ)

SCADA (аббр. от англ. *Supervisory Control And Data Acquisition* - Диспетчерское управление и сбор данных) — программно-аппаратный комплекс, предназначенный для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. *SCADA*-системы используются в отраслях, где требуется обеспечивать операторский контроль за технологическими процессами в реальном времени. В электроэнергетике *SCADA* - адаптированная к задачам управления режимами электроэнергетических систем **«автоматизированная система диспетчерского управления и получения данных»**. Диспетчеризация на основе *SCADA* позволяет повысить эффективность и надежность электроэнергетических систем.

Основное назначение *SCADA*-системы :

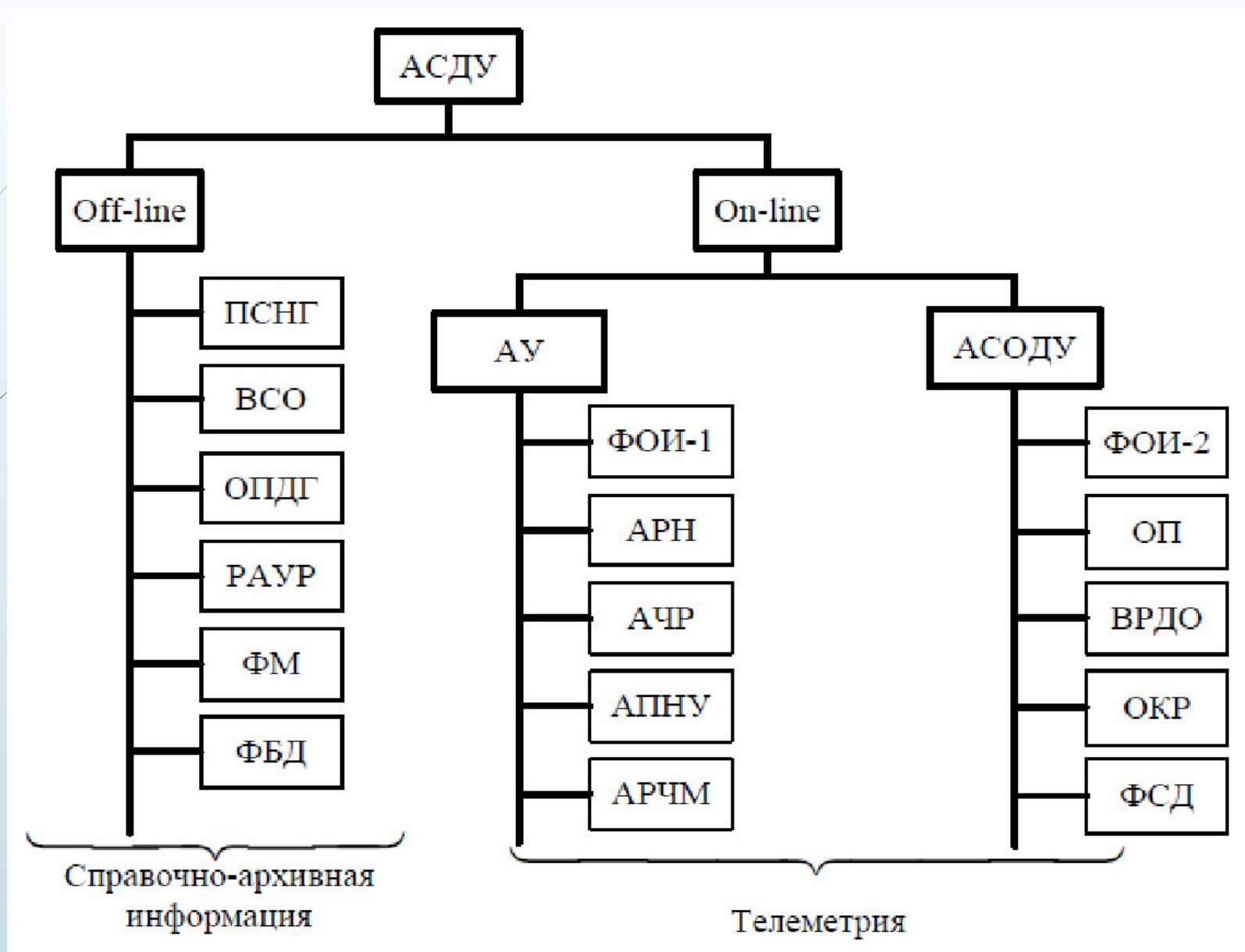
- взаимодействие оператора с технологическим процессом;
- сбор данных о контролируемом технологическом процессе;
- управление технологическим процессом, реализуемое диспетчерским персоналом на основе собранных данных и правил (критериев), выполнение которых обеспечивает наибольшую эффективность и безопасность технологического процесса.

Автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ)

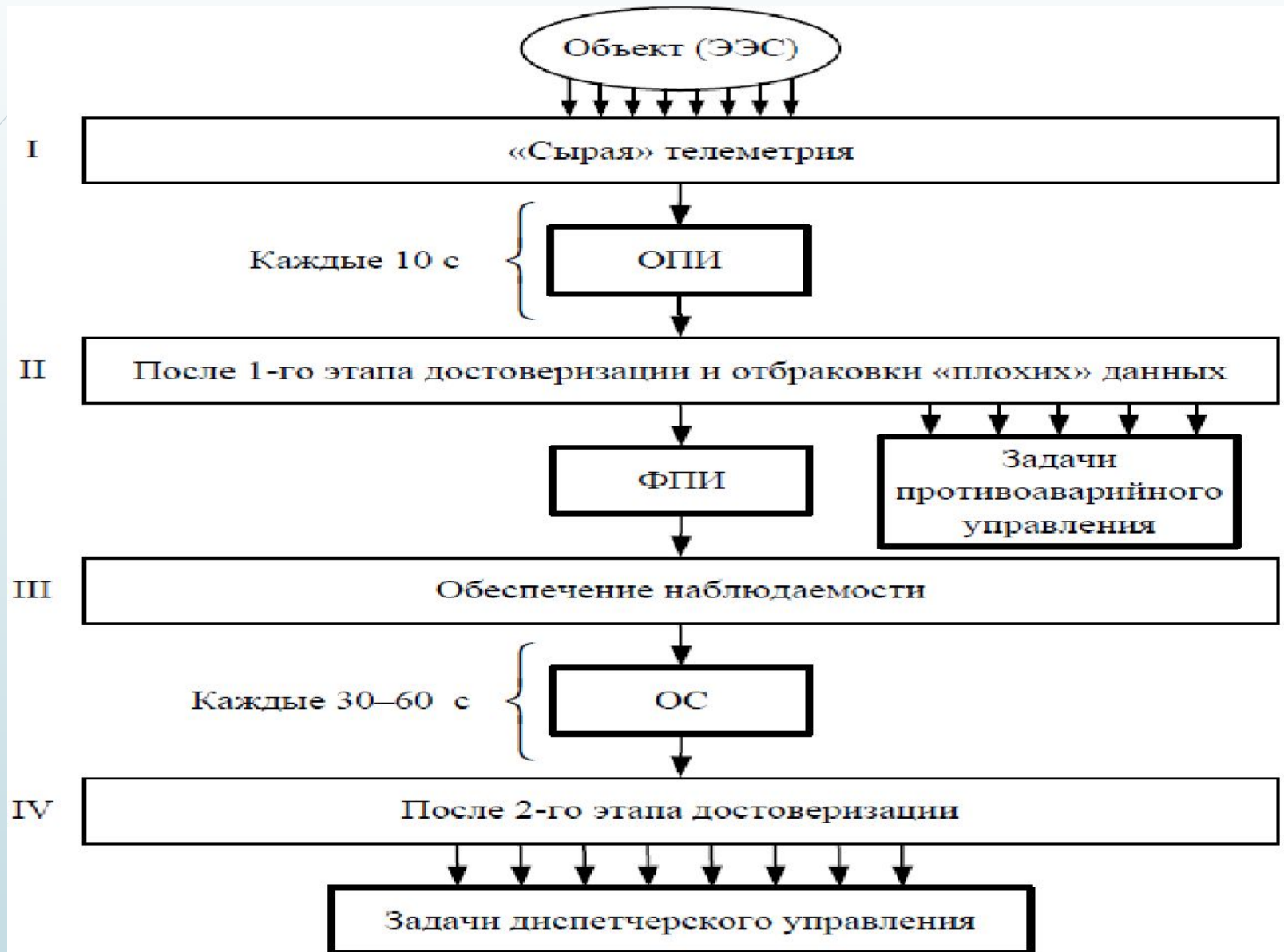
В ОИК выделяют (но не разделяют!) три главных компонента (сегмента) деятельности:

- ✓ собственно, *SCADA* – система, обеспечивающая решение основных информационно-вычислительных задач для диспетчера. *SCADA* представляет из себя программный комплекс (пакет), предназначенный для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, средств отображения информации (видеостена, диспетчерский щит, мониторы АРМ) и архивирования информации об объекте мониторинга или управления.
- ✓ *EMS – Energy Management System*, система планирования и управления режимами энергосистем, состоящая из:
 - приложений «off-line», обеспечивающих решение задач планирования электрических и энергетических режимов в суточном и более продолжительных циклах, как правило, не использующих телеинформацию;
 - приложений «on-line», обеспечивающих функции: анализа и планирования режимов на основе текущего расчетного режима ЭЭС; советчика диспетчера по вводу режима в допустимую область; прогноза потребления (суточного и внутрисуточного); оптимизация режимов по активной мощности; внутрисуточной коррекции режима по активной мощности и напряжению; оперативной оценки надежности, и т.д.
- ✓ *MMS – Market Management System* – технология управления рынками

Структура комплекса задач и функций EMS в АСДУ



Уровни обработки телеинформации



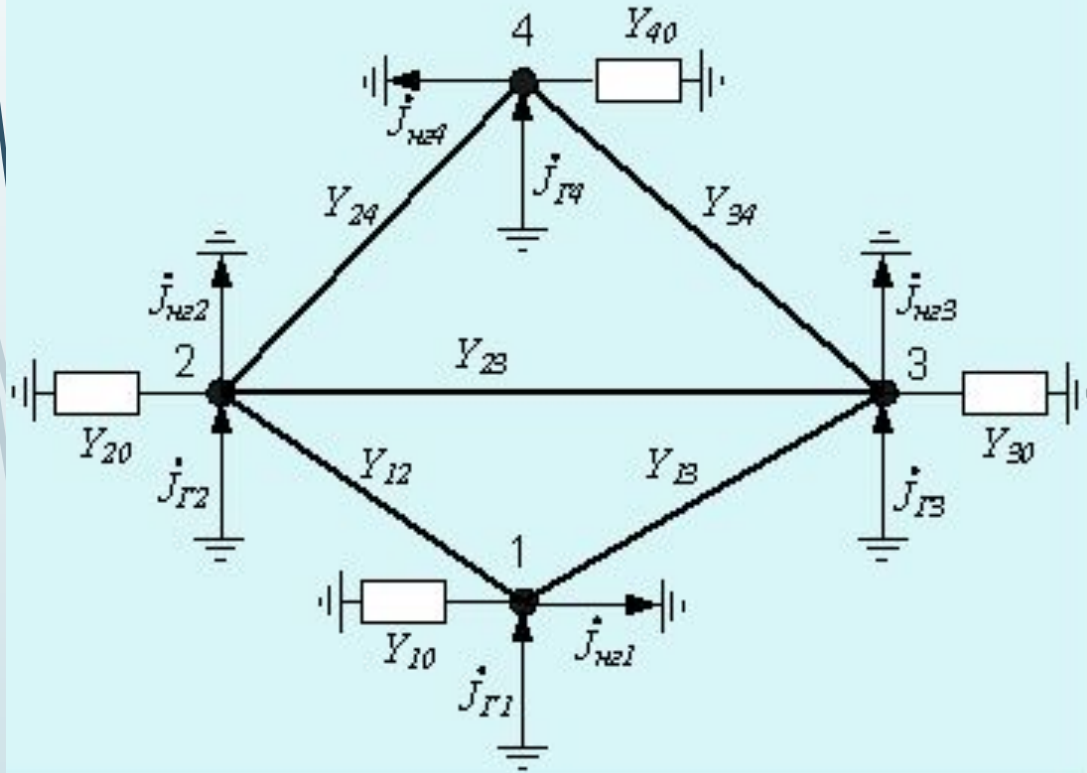
Оценивание состояния ЭЭС – постановка задачи

Оценивание состояния объединенной энергосистемы (ОЭС) – важная процедура, позволяющая в темпе процесса оперативного управления рассчитать режим для текущей схемы электрической сети **на основе телеизмерений**.

Результатом оценивания состояния (ОС) является расчет установившегося режима электроэнергетической системы (ЭЭС) на основе измерений параметров режима и данных о состоянии топологии схемы.

Полученная расчетная модель ОЭС затем используется для решения различных технологических задач, в частности, в составе централизованных систем противоаварийной автоматики.

Оценивание состояния ЭЭС – уравнения установившегося режима



Напряжение U_4 в базисно-балансирующем узле - задано

$$\begin{cases} Y_{11}U_1 - Y_{12}U_2 - Y_{13}U_3 = J_1, \\ -Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2 - Y_{23}U_3 = J_2 + Y_{24}U_4, \\ -Y_{31}U_1 - Y_{32}U_2 + Y_{33}U_3 = J_3 + Y_{34}U_4. \end{cases}$$

$$\begin{cases} w_{I1}(U_1, U_3, U_3) = Y_{11}U_1 - Y_{12}U_2 - Y_{13}U_3 - \frac{S_{\Gamma 1} - S_{н21}}{3U_1} = 0, \\ w_{I2}(U_1, U_3, U_3) = -Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2 - Y_{23}U_3 - Y_{24}U_4 - \frac{S_{\Gamma 2} - S_{н22}}{3U_2} = 0, \\ w_{I3}(U_1, U_3, U_3) = -Y_{31}U_1 - Y_{32}U_2 + Y_{33}U_3 - Y_{34}U_4 - \frac{S_{\Gamma 3} - S_{н23}}{3U_3} = 0. \end{cases}$$

Оценивание состояния ЭЭС – число телеизмерений

Многофункциональные измерительные преобразователи МИП-01 и МИП-02 измеряют:

в узлах сети: U_i, u_i, δ_i, f_i - $4*n$

в присоединениях: I_{ij}, P_{ij}, Q_{ij} - $3*m$

Всего телеизмерений $\mu = 4*n + 3*m$

Обозначим любое телеизмерение, представимое в виде функции от (U, δ) ,

как $V_\mu (U, \delta)$

Тогда избыточность количества телеизмерений может быть преобразована в уточнение фактических значений параметров режима.

Оценивание состояния ЭЭС –
метод взвешенных наименьших квадратов

Целевая функция


$$\min F = \sum_{j=1}^{4n+3m} \frac{1}{\sigma_j} [V_j(u, \delta) - V_j^{\text{изм}}]^2$$

Система уравнений для определения экстремума:

$$\frac{\partial F}{\partial V_j} = \frac{2}{\sigma_j} [V_j(u, \delta) - V_j^{\text{изм}}] = 0$$

$$j = 1, \dots, (4n+3m)$$

+ система ограничений в форме
уравнений установившихся режимов

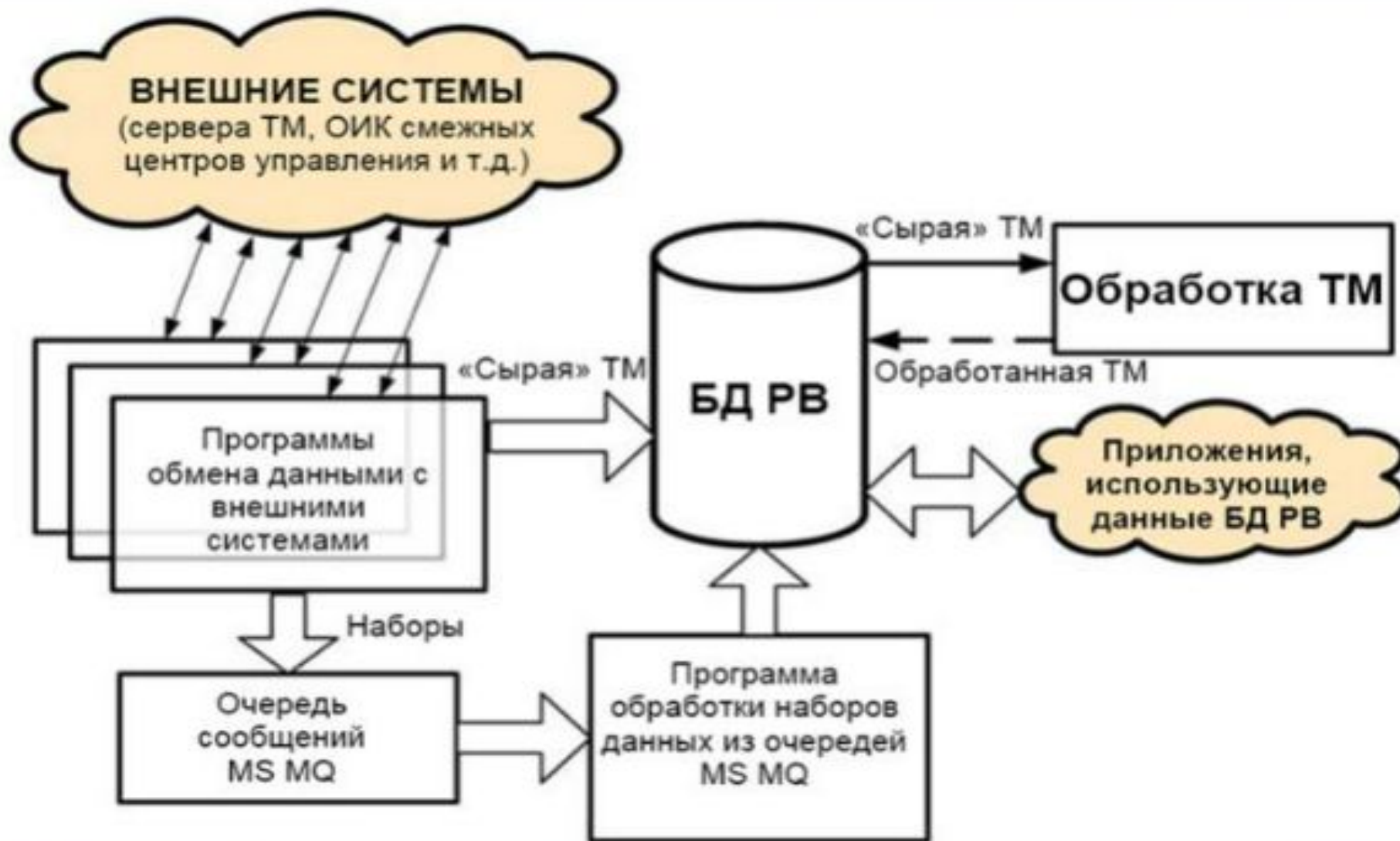


Оценивание состояния ЭЭС как оптимизационная задача – методы решения

1. Методы нелинейного программирования
2. Метод приведенного градиента
3. Метод множителей Лагранжа
4. Метод покоординатного спуска

Автоматизированная система диспетчерского управления

Информационный обмен оперативной информацией



Расширенный функциональный состав информационно-вычислительного комплекса ДЦ СО



Требования к АСДУ - полнота данных

- ОИК должен обеспечивать прием и обработку параметров всех элементов электрической схемы.
- Для функционирования ОИК должна быть обеспечена передача данных о состоянии и параметрах режима всех элементов электрической сети объекта управления.
- Минимально необходимый объем телеинформации, поступающей в ОИК, должен обеспечивать оперативный контроль в реальном времени за состоянием и параметрами оборудования, находящегося в оперативном управлении и ведении персонала конкретного диспетчерского центра.
- Оптимальный объем телеинформации должен обеспечивать наблюдаемость расчетной схемы модели реального времени контролируемой электрической сети.

Требования к АСДУ – функциональность (1)

- **функции приема и передачи данных** (обеспечение связи с устройствами телемеханики, телеуправления, телерегулирования; телекоммуникационный обмен данными между центрами диспетчерского управления с интерфейсом, заданным на верхнем уровне управления; прием и передача данных по состоянию и управлению устройствами РЗА, локальной автоматики и т.д.);
- **функции обработки принятых данных** (преобразование потока данных и приведение его к принятой системе величин; достоверизация информации; обработка данных для получения производных характеристик параметров; обработка данных для синтеза и актуализации расчетных моделей);
- **функции хранения и архивирования данных** (управление наполнением архивов данным (глубина и цикличность); администрирование архивов (копирование, восстановление и др.); сервис доступа к системе архивирования данных (внешний программный интерфейс с учетом политики безопасности и надежности, в том числе импорт/экспорт данных); хранение и архивирование истории изменений информационной модели и нормативно-справочной информации (НСИ));

Требования к АСДУ – функциональность (2)

- **функции администрирования и управления** (единая система обработки событий, оповещения и журналирования; управление единым временем; контроль и диагностирование программно-аппаратного комплекса ОИК, а также средств коммуникации; управление конфигурацией ОИК; управление состоянием и ресурсами ОИК и др.);
- **функции технологических приложений** (ведение режима согласно диспетчерскому графику; мониторинг режима; ведение оперативного журнала; информационное обеспечение ремонтных работ и переключений в сети; контроль и управление напряжением; автоматическое регулирование частоты и перетоков мощности; контроль за состоянием противоаварийной автоматики (ПА); оперативное прогнозирование режима; оперативная оценка надежности режима; сбор и обработка данных "быстрых" процессов (аварийных режимов) и др.).



Требования к АСДУ – эргономичность

- удобный и интуитивно понятный пользовательский интерфейс;
- максимальное приближение текстов и терминов интерфейсов к предметной области;
- наличие интерактивных обучающих средств и материалов для облегчения освоения системы;
- продуманная и развитая документация для пользователей разных уровней.



Требования к АСДУ – надежность

- коэффициент готовности ОИК должен быть не менее 99,98%;
- среднее время восстановления полной работоспособности ОИК не должно составлять более 4 часов;
- должна быть обеспечена способность ОИК к сохранению работоспособности комплекса с понижением качества при отказе отдельных элементов технических или программных средств.

Требования к АСДУ – производительность

- разрешающая способность при определении времени коммутации - не более 1 секунды:
- полный цикл обработки информации от поступления параметра в ОИК до архивирования и предоставления информации локальным пользователям - не более 5 секунд.